



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE
MATERIALES E INGENIERÍA QUÍMICA**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DE METALES PINTADOS CON
PRETRATAMIENTO DE PLASMA ATMOSFÉRICO**

AUTOR:

M^a Pilar González Molina

TUTORES:

Susana Guzmán Fernández

Francisco J. Velasco López

Leganés, Diciembre 2013

AGRADECIMIENTOS

Pensé que nunca llegaría este día, pero después de tanto tiempo, al fin he conseguido finalizar el proyecto fin de carrera.

En primer lugar, quisiera dar las gracias a mis tutores de proyecto Susana Guzmán y Francisco Velasco por darme esta oportunidad de realizarlo con ellos y por ser tan pacientes conmigo. Sin su ayuda no lo habría conseguido.

Quiero agradecer a mis padres y a mi hermano su incondicional apoyo y esfuerzo durante todos estos años.

También quiero agradecer a mis amigos de Madrid, compañeros de trabajo y amigas del pueblo, todo su apoyo mostrado.

A todos, muchas gracias.

INDICE

1. RESUMEN.....	6
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
3. RECUBRIMIENTOS EN POLVO	11
3.1. INTRODUCCIÓN	11
3.1.1. LAS PINTURAS	11
3.2. QUÉ SON LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO	12
3.2.1. TIPOS DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO	13
3.2.2. FABRICACIÓN	13
3.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PINTURA EN POLVO.....	14
3.2.4. APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO	14
3.2.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN	15
3.2.6. DEFECTOS-CAUSAS EN LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO	16
4. PRETRATAMIENTOS	19
4.1. INTRODUCCIÓN	19
4.2. TIPOS DE PRETRATAMIENTOS.....	19
4.2.1. DESENGRASADO	20
4.2.2. FOSFATADO.....	21
4.2.3. ELECTROCINCADO	21
4.2.4. GALVANIZADO	22
4.2.5. CROMATIZADO.....	22
4.2.6. OTROS TRATAMIENTOS	22
5. MARCA DE CALIDAD QUALICOAT Y QUALISTEELCOAT	24
5.1. INTRODUCCIÓN	24
5.2. MARCA DE CALIDAD QUALICOAT	24
5.3. MARCA DE CALIDAD QUALISTEELCOAT	24
6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	26
6.1. INTRODUCCIÓN	26
6.2. RECUBRIMIENTO Y SUSTRATOS.....	26
6.2.1. ALUMINIO	26
6.2.2. ACERO.....	27
6.2.3. RECUBRIMIENTO EN POLVO UTILIZADO	28
6.3. PRETRATAMIENTO DE PLASMA.....	29
6.4. ENSAYOS REALIZADOS EN EL ALUMINIO	31
6.4.1. BRILLO.....	31

6.4.2.	ESPESOR	33
6.4.3.	ADHERENCIA	35
6.4.4.	DUREZA	37
6.4.5.	ENSAYO DE EMBUTICION.....	39
6.4.6.	RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DURANTE EL PLEGADO.....	41
6.4.7.	ENSAYO DE IMPACTO.....	43
6.4.8.	RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS CONTENIENDO DIÓXIDO DE AZUFRE.....	45
6.4.9.	ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO	48
6.4.10.	RESISTENCIA AL MORTERO	53
6.4.11.	RESISTENCIA AL AGUA HIRVIENDO.....	57
6.4.12.	TRACCIÓN INDIRECTA	58
6.5.	ENSAYOS REALIZADOS EN EL ACERO	65
6.5.1.	ESPESOR	65
6.5.2.	ADHERENCIA	67
6.5.3.	BRILLO.....	68
6.5.4.	ENVEJECIMIENTO ACELERADO.....	69
6.5.5.	RESISTENCIA QUIMICA	72
6.5.6.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS QUE CONTIENEN DIÓXIDO DE AZUFRE.....	79
6.5.7.	NIEBLA NEUTRA	81
6.5.8.	MORTERO.....	88
6.5.9.	AGUA HIRVIENDO	90
6.5.10.	TRACCIÓN INDIRECTA	90
7.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	96
7.1.	ALUMINIO	96
7.2.	ACERO.....	97
8.	CONCLUSIONES	99
9.	LINEAS FUTURAS DE TRABAJO	101
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

CAPITULO 1

Resumen



1. RESUMEN

En nuestra vida diaria, nos encontramos infinidad de elementos que experimentan algún tipo de interacción con el ambiente que les rodea. Éstos hacen nuestro entorno más cómodo y agradable tanto funcional como estéticamente. Los materiales empleados requerirán un tipo de recubrimiento para hacer que sus propiedades mecánicas, físicas, eléctricas o simplemente su apariencia permanezcan intactas por más tiempo.

El presente proyecto está basado en la alternativa de utilizar un pretratamiento diferente a los convencionales, siendo éste el uso de plasma, sobre dos aleaciones de aluminio y otras dos de acero utilizado en los elementos arquitectónicos y útiles cotidianos con el fin de determinar la durabilidad y adherencia de los diferentes sustratos recubiertos con una pintura en polvo, una vez puestos en servicio. Para ello el estudio se va a basar en las Marcas de Calidad Qualicoat y Qualisteelcoat, las cuales detallan una serie de ensayos tanto de tipo mecánico como químico para evaluar el comportamiento del recubrimiento sobre el metal, aluminio y acero respectivamente. El resultado de los ensayos determinados para cada uno de los sustratos metálicos indicará si éstos pasan o no los requerimientos.

Todos los ensayos realizados y demás características presentes en este proyecto han sido realizados bajo las Normas ISO, cuya principal finalidad es orientar, coordinar, simplificar y unificar los usos para conseguir menores costes y aumentar la eficacia.



ABSTRACT

We can find a lot of elements that experiment some kind of interaction with the environment in our daily life. They make our environment more comfortable from a functional and esthetically points of view. Materials used required a type of coating that keeps unmodified their mechanical, electrical, physical properties, or just their appearance, as longer as possible.

Present project is based on the alternative use of a different pretreatment from conventional ones, an atmospheric plasma treatment. It is going to be used on two types of aluminium alloys and two types of steel that are commonly used for architectural applications and other conventional elements in order to determine the durability and adhesion on different substrates coated with a powder based organic paint once they are in use. For that, the study is going to be based on Specifications Qualicoat and Qualisteelcoat, which describe mechanical and chemical test procedures to evaluate the behavior of coating on metals, aluminium and steel respectively. The results of these tests will show us if they are pass or not the standard requirements.

Test methods are defined on ISO International Standards, whose objectives are pointing, coordinating, simplifying and standardizing the used to reduce the costs and to increase the efficacy.

CAPITULO 2

Objetivos



2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es la realización de un estudio sobre un posible pretratamiento alternativo a los convencionales, utilizados en la aplicación de recubrimientos en polvo mediante el método de termolacado. Para conseguir este objetivo se propone estudiar el recubrimiento sobre dos sustratos con el fin de comprobar la durabilidad de éstos.

Los materiales sobre los cuales se va a centrar este estudio o sustratos serán el aluminio y el acero, ambos utilizados habitualmente en elementos arquitectónicos tanto en ambientes exteriores o a la intemperie, como interiores. Se emplearán dos aleaciones por cada uno de los sustratos, siendo en el caso de los aluminios requeridos por la marca Qualicoat para ensayos mecánicos y químicos.

El recubrimiento utilizado será pintura en polvo de color blanco el cual será aplicado a los diferentes materiales mediante el método de termolacado.

El pretratamiento realizado va a ser Plasma Atmosférico con una velocidad de 1 m/min (metro por minuto) con una altura de 6 mm.

Las pruebas realizadas sobre cada uno de los materiales de los cuales disponemos vienen definidas en las Especificaciones Qualicoat en el caso del aluminio y Qualisteelcoat para los aceros.

Para la realización de un mejor estudio de la adhesión provocada entre recubrimiento y sustrato se ha procedido a realizar un ensayo de tracción indirecta.

La realización y estudio de todos estos ensayos darán como resultado la posible viabilidad del nuevo pretratamiento utilizado.

CAPÍTULO 3

Recubrimientos en polvo



3. RECUBRIMIENTOS EN POLVO

3.1. INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos son materiales que son depositados sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato, que puede consistir en la aplicación de una o varias capas.

Los principales objetivos de los recubrimientos serían entre otros:

- Proteger el material contra la corrosión por el calor y la intemperie.
- Mejorar la luminiscencia y el aspecto de la superficie.
- Aislamiento eléctrico.
- Brinda mayor vida útil a la pieza.

Existen muchos métodos de recubrimientos disponibles y la selección del mejor proceso depende de los requisitos funcionales, de la adaptabilidad del material de recubrimiento al método previsto, del nivel de adherencia requerido, así como de la disponibilidad y costo del equipo.

Existen tres grandes grupos de recubrimientos que se clasifican según el material utilizado¹:

➤ Recubrimientos metálicos:

Se obtienen por diversos procedimientos, fundamentalmente por inmersión en caliente o electrodeposición. La resistencia a la corrosión del metal protegido se optimiza con el espesor de la capa depositada, la fase cristalina constituyente y la menor densidad de poros o grietas del depósito. Las principales ventajas es que son insolubles en soluciones orgánicas y son buenos conductores del calor y la electricidad. Un ejemplo de este tipo de recubrimientos lo encontramos en la deposición de cinc sobre acero para obtener el acero galvanizado.

➤ Recubrimientos inorgánicos:

Principalmente se usan los recubrimientos cerámicos y de vidrio que dan al sustrato un acabado terso y duradero. En algunas industrias químicas se ha impuesto el uso de recipientes de acero vidriados que son fáciles de limpiar y tienen gran resistencia a la corrosión. La principal ventaja es que es duro y resistente a altas temperaturas, pero por el contrario tenemos que es quebradizo y mal conductor del calor y la electricidad.

➤ Recubrimientos orgánicos:

En este tipo se incluyen barnices, lacas, esmaltes, pinturas, plásticos, goma, etc., de ahí que sean los recubrimientos más extendidos y utilizados. Las ventajas que presenta este tipo de recubrimiento es que suelen ser baratos, fácil de aplicar, impiden la corrosión a la superficie metálica y proporciona una buena apariencia a la superficie.

3.1.1. LAS PINTURAS

Las pinturas, desde un punto de vista técnico-económico, constituyen el método más adecuado para la protección de los materiales empleados en la construcción y en la

industria. Se puede definir como todo material orgánico conteniendo resinas que es usado para: protección, decoración y recubrimientos funcionales en cualquier tipo de superficie. Esta definición incluye a las pinturas en medio húmedo y seco.

Una pintura es una mezcla homogénea de diversos componentes, que se pueden separar en cuatro grupos fundamentales mostrados en la siguiente figura²:



Figura 1 – Composición de las pinturas líquidas.

Resinas: Llamado también plástico, polímero, vehículo, forma el film ó capa de pintura. Es el elemento responsable de la formación de película y que al secar, “liga” todos los componentes formando una unidad.

Pigmentos: Provee, entre otras funciones opacidad y color para el film aplicado. Los pigmentos pueden ser omitidos para recubrimientos tales como los barnices.

Solventes: Son importantes en la constitución de la pintura pero no influyen de forma decisiva. El uso es imprescindible para la fabricación de las pinturas, puesto que la mayoría de resinas son sólidas o de viscosidad elevada y se usan para diluir éstas. Se utilizan en muchas pinturas líquidas pero no en las pinturas en polvo.

Aditivos: Son sustancias que podrían ser agregadas para proveer propiedades especiales a la pintura.

Las resinas, pigmentos y aditivos son la estructura sólida de una pintura, los solventes que evaporan durante el curado son llamados los volátiles en la formulación. Las pinturas son preparadas mezclando juntas una resina particular ó combinación de ellas, un solvente ó mezcla de solventes y frecuentemente aditivos y pigmentos. Esta mezcla es hecha acorde a una específica formulación para cumplir con ciertas propiedades al ser aplicada y curada convenientemente tales como: dureza, color, brillo, resistencia superficial, etc.

Una pintura es un producto opaco que no se corresponde en nada con un barniz, o una laca transparente. Los componentes de la pintura varían en gran manera en función del tipo de acabado que se requiera y de las condiciones de aplicación y secado.

3.2. QUÉ SON LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO³

Las pinturas en polvo son recubrimientos orgánicos compuestos por resinas sintéticas, pigmentos y aditivos. Son pinturas que a diferencia de las líquidas no contienen en su composición, solventes orgánicos. Son pinturas ecológicas y de un impacto ambiental muy bajo.



3.2.1. TIPOS DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO

Los diferentes tipos que podemos encontrarnos de pintura en polvo dependen del material de la resina utilizada para su fabricación.

➤ **Epoxi:**

Pintura constituida por resinas epóxicas puras. Fueron las primeras resinas desarrolladas. Se utilizan sobre todo en aquellas piezas que precisan una alta resistencia química (oleoductos), sector de la electrónica, imprimaciones para piezas destinadas al exterior.

➤ **Epoxi-Poliéster:**

Pintura constituida por resinas poliésteres endurecidas por resinas epóxicas. Se utiliza sobre todo para todas aquellas piezas que se les dará un uso interior (iluminación, muebles metálicos, electrodomésticos, juguetes, etc.) No es recomendable para piezas destinadas al exterior.

➤ **Poliéster T.G.I.C.:**

Pintura constituida por resinas poliésteres endurecidas por triglicidilisocianurato (T.G.I.C). Su uso está fundamentalmente destinado a piezas destinadas al exterior (Carpintería de aluminio, muebles de jardín, automoción, etc.), aunque actualmente su utilización tiende a desaparecer.

➤ **Poliéster sin T.G.I.C.:**

Pintura constituida por resinas poliésteres endurecidas (hidroxialquilamida o glicidilester). Su uso está indicado a piezas destinadas al exterior.

➤ **Poliuretano:**

Pintura constituida por resinas de poliéster endurecidas con isocianatos y que han sido desarrolladas para su aplicación en piezas para uso exterior así como en piezas que precisen un acabado inmejorable.

➤ **Acrílica:**

Pintura constituida por resinas acrílicas. Se utiliza principalmente para piezas destinadas al exterior, pero su elevado costo limita mucho su mayor aplicación.

3.2.2. FABRICACIÓN

Se realiza en cinco pasos:

Pesado de los componentes de la fórmula: Es de vital importancia de cara a la correcta fabricación ya que un error en la dosificación puede acarrear un desequilibrio en la fórmula.

Premezcla de los componentes: Se realiza en equipos adecuados para la mezcla de productos en seco ya que debe evitar aglomeraciones de los componentes y una mezcla totalmente homogénea.



Extrusionado: Es la consecución de una masa homogénea en sus propiedades a partir de que los componentes de la pintura funden en la extrusora a una temperatura de unos 100°C, obteniéndose una especie de chips o escamas de 2-3 cm de ancho y 1-2 mm de espesor.

Molienda y Filtrado: Se consigue con la ayuda de un molino el cual lo transforma en polvo, separando convenientemente las partículas más finas y más gruesas, y a través de un sistema de ciclón se consigue filtrar y tamizar una fracción de lo molido.

Envasado: Se efectúa en bolsas de polietileno o “tipo papel vegetal”.

3.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PINTURA EN POLVO

Las principales ventajas que presenta este tipo de pintura serían:

- No hay emisión de compuestos orgánicos volátiles.
- Bajo riesgo de explosión.
- Mayor facilidad de limpieza.
- Gama muy amplia de piezas a pintar.
- Grandes volúmenes de producción.
- Menor tiempo de trabajo.
- Mayor aprovechamiento de la pintura.
- Menor contaminación.

Las principales desventajas serían:

- Coste energético
- Imposibilidad de pintar sustratos que no resisten el calor.

3.2.4. APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

El principio básico en la aplicación de la pintura en polvo es conseguir cargar eléctricamente (positiva o negativamente) las partículas de la pintura en polvo para que se adhieran al sustrato.

Hay dos tipos de equipos que puedan cargar eléctricamente la pintura:

- Equipo de carga por corona (carga por generador)
- Equipos triboeléctricos (carga por fricción de los granos de la pintura entre sí y contra las paredes del cañón de la pistola).

En los dos casos los componentes necesarios para la aplicación de la pintura son:

Depósito de la pintura: es un tanque cilíndrico que en su base tiene una membrana porosa que por debajo de la cual se hace pasar una corriente de aire que consigue tener en suspensión la pintura en polvo dentro del depósito (lecho fluidificado). Con ellos se consigue que el polvo tenga un comportamiento similar al líquido y se puede conducir a través de mangueras hasta las pistolas de aplicación.

Pistola electroestática: es el elemento del equipo donde la pintura se carga eléctricamente gracias a unos electrodos que le dan una carga a la misma de 60 – 90



KV. En el caso de equipos triboeléctricos la pistola dispone de un tubo de teflón por el cual pasan las partículas de pintura y por fricción se cargan (positivo). Las pistolas disponen de diferentes accesorios en la misma que son para la regulación de flujo de la pistola y otros para dar formas distintas a la nube de aplicación del polvo (setas).

Panel de control: Desde este se regulan el caudal de aire, voltaje aplicado o bien el obtenido en el caso de la triboeléctricos debido a la fricción, presión del aire en el depósito para fluidificar.

3.2.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

Consta de cuatro pasos:

Túnel de tratamiento: El tratamiento superficial de la pieza puede ser por inmersión (cubas) o bien por aspersión (túnel) que pueden tener diferentes etapas de desengrase, enjuagues y fosfatados.

Túnel de secado (temperatura +/-100°C): Sirve para que las piezas lleguen totalmente secas a la cabina de pintura después de pasar por el tratamiento de superficie.

Cabina de pintura o proyección: Incorpora un ciclón para recuperar el polvo no depositado en la pieza. El volumen de aire de extracción de la cabina debe ser tal que ni expulse el polvo de cabina, permitiendo que se acumule sobre el suelo, ni que haga saltar el polvo de las piezas.

Túnel de polimerizado y curado: La cabina debe tener una extracción de aire a baja velocidad detrás de la pieza y una ranura de aspiración a gran velocidad en la parte frontal. Los hornos de secado y curado pueden ser estáticos o bien en cadena.

La longitud del horno debe estar calculada según la velocidad que se quiera llevar de cadena y que la pieza esté en el horno el tiempo suficiente para que cure y polimerice bien. El recuperador del polvo debe ser de fácil limpieza, para poder efectuar rápidamente los cambios de colores. Una vez se ha recuperado, debe tener un dosificador que lleve directamente éste a mezclarse con el nuevo en el calderín que alimente a las pistolas de proyección.

El proceso de curado está directamente vinculado a la temperatura y al tiempo. Para obtener un pintado correcto se deben respetar los parámetros siguientes:

- Poliésteres 200°C - 15 min / 180°C - 20 min
- Epoxis e Híbridos 200°C - 10 min / 180°C - 15 min

Hay que tener en cuenta que la temperatura indicada se refiere a la temperatura del metal. Esto significa que si tenemos una pieza de un grosor de 3 mm y otra de 15 mm con las mismas dimensiones, esta última precisará de más tiempo en el horno para lograr el mismo grado de curado ya que tardará más en llegar a la misma temperatura.



3.2.6. DEFECTOS-CAUSAS EN LOS RECUBRIMIENTOS EN POLVO

Los principales defectos y causas que nos podemos encontrar con los recubrimientos en polvo una vez polimerizado aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Defectos y causas de las pinturas en polvo

PROBLEMA	DEFECTO	CAUSA
RUGOSIDAD (piel de naranja)	Poca distensión, superficie áspera.	Recubrimiento demasiado delgado o grueso. Incompatibilidad con otros polvos. Velocidad de secado demasiado alta o baja. Polvo demasiado grueso o envejecido.
CRATERES	Agujeros que descubren el sustrato.	Restos de aceite o grasa en el metal. Siliconas en el ambiente. Tratamiento de superficie deficiente. Aire comprimido con aceite o agua. Contaminación de otro polvo que es incompatible.
DESCOLGADO DE LA PELÍCULA	Gotas y acumulación de pintura en los cantos inferiores.	Temperatura y/o velocidad demasiado altas. Excesiva deposición de polvo.
FALTA DE ATRACCIÓN DEL POLVO A LA PIEZA	Dificultad al pintar. El polvo se cae.	Tensión mal regulada. Mala toma de tierra. Ganchos sucios. Caudal de polvo excesivo. Granulometría muy fina del polvo.
FALTA DE PENETRACIÓN EN LOS RINCONES	No llega el polvo a los rincones. Cubre mal.	Caudal, presión o tensión mal regulados.
PROPIEDADES MECÁNICAS DEFICIENTES	Se raya fácilmente. No tiene adherencia. Salta con el impacto.	Mal curado debido a falta de tiempo o temperatura bajos. Los recubrimientos mates son propensos a los fallos en ensayos mecánicos. Mal tratamiento de superficie. Demasiada capa.



COLOR DESVIADO	El color no es el acostumbrado.	Temperatura de cocción demasiado alta o baja. Recubrimiento pobre, sin cubrición.
OBTURACIÓN DE PISTOLAS	Se atascan las pistolas, sale poco polvo.	Aire comprimido con agua. Caudal de aire demasiado elevado. Las venturas se taponan por excesiva velocidad del polvo. Polvo humedecido. Polvo con un alto porcentaje de pines. Tamiz obturado. Falta de óxido de aluminio.

CAPITULO 4

Pretratamientos



4. PRETRATAMIENTOS

4.1. INTRODUCCIÓN

Los principales objetivos en la preparación de una superficie metálica antes del recubrimiento en polvo pueden definirse como sigue⁴:

- La eliminación completa de toda materia extraña, por ejemplo, óxido, grasa, aceite de corte, tierra, salpicaduras de soldadura, etc.
- El acondicionamiento de la superficie a fin de hacerla adecuada para el recubrimiento que se va a aplicar.
- El pretratamiento debe impartir uniformidad a lo largo de todas las superficies de las piezas tratadas, con independencia de la procedencia del metal o de los contaminantes que puedan adherirse.

Como ocurre con otros métodos de acabado orgánico, la fase de pretratamiento es esencial a fin de alcanzar el pleno potencial del recubrimiento en polvo.

El pretratamiento superficial puede variar según los requisitos específicos de uso de los productos acabados, desde una simple operación de limpieza en un solo paso a un pretratamiento sofisticado en múltiples etapas.

Acero, aluminio, cobre, aleaciones de zinc y acero galvanizado son los metales comunes en los que se utilizan recubrimientos en polvo. En una serie de casos en los que se aplican condiciones normales de servicio, pueden obtenerse propiedades satisfactorias limpiando el metal a fondo.

No se debe pensar que la capa de pintura y la capa de pretratamiento son separadas, tienen un efecto sinérgico. De su compatibilidad dependen las propiedades finales del material.

4.2. TIPOS DE PRETRATAMIENTOS

Antes de entrar en el tratamiento superficial deberemos limpiar y desengrasar las piezas, hay que tener en cuenta que normalmente las piezas a pintar vienen del proceso de fabricación con diferentes tipos de contaminaciones: polvo, óxido, grasas, elementos de ayuda para la mecanización, etc. Todos estos elementos deben eliminarse ya que piden interferir y modificar la capa de tratamiento que le demos a las piezas.

Para superficies de hierro/acero, se obtiene una resistencia máxima a la corrosión y a la sal de pulverización aplicando una capa de conversión de fosfato de zinc.

Para el aluminio y sus aleaciones, aunque las superficies limpias se revisten fácilmente y la adherencia es excelente, el rendimiento puede mejorarse usando una capa de conversión especial de cromato.

Con todos los sustratos a base de zinc, se recomienda un recubrimiento de fosfato adecuado.

En la siguiente tabla se indican los métodos más habituales sobre los sustratos más comúnmente usados⁵:

Tabla 2 – Sustratos según los pretratamientos más comunes

PRETRATAMIENTO	SUSTRATO
CROMATIZACION (BASE AGUOSA)	ALUMINIO
FOSFATACION MICROCRISTALINA	ACERO, HIERRO, ACERO GALVANIZADO
FOSFATACION AMORFA	ACERO, HIERRO

4.2.1. DESENGRASADO

Consiste en la eliminación de aceites, grasas, polvo, óxido o humedades de las superficies a pintar fruto de su almacenamiento o procesos de mecanización de las mismas. El más usual es por medio de disolventes orgánicos.

Este sistema requiere una instalación que permite poner en estado de vapor el disolvente provocando la disolución de las grasas. Tiene como ventaja que no altera la superficie metálica, pero existen elementos de suciedad que no son disueltos como virutas metálicas o diferentes fluidos utilizados en las operaciones de mecanizado. Su toxicidad y nula protección del sustrato lo hace un sistema en extinción.

4.2.1.1. ALCALINO

Tratamiento para piezas sin grandes exigencias. Da un buen resultado como limpieza, pero hay que cuidar que no queden residuos del baño para evitar problemas en la aplicación de la pintura y posteriores corrosiones. No incrementa la adherencia ni las propiedades mecánicas de la pieza pintada.

4.2.1.2. TRICLOROETILENO

A pesar de que es un tratamiento en vías de extinción por ser un producto tóxico y peligroso se continúa utilizando.

Es aun el sistema más económico y de limpieza más rápido. Este producto desengrasa pero no limpia los residuos que pueda tener la pieza como grafito.

- Sobre hierro: solo sirve como desengrase, no da protección anticorrosiva. Da unos buenos resultados de adherencia.
- Sobre aluminio y aleaciones: se obtienen unos resultados parecidos a los de hierro, pero en este caso es aconsejable un tratamiento más estable como pueda ser el perclorato.
- Hojalata: Da muy buenos resultados de adherencia y resistencia mecánica. Al ser este material mezcla de hierro y estaño no precisa protección contra la corrosión.
- Hierro zincado o galvanizado: En el galvanizado la adherencia es superior al zincado así como la resistencia mecánica.
- Cadmio: Solo se utiliza como limpieza para evitar problemas de aplicación por la suciedad.
- Cobre y Aleaciones: Único tratamiento para conseguir una adherencia y propiedades mecánicas normales.



4.2.2. FOSFATADO

Consiste en la conversión de la superficie metálica en una fina capa de fosfato metálico quedando la primera protegida por una barrera contra agentes externos. La calidad del fosfatado dependerá del grado de control en las diferentes etapas del proceso como acidez, tiempo de rociado, temperatura, etc. Se suele adicionar algún acelerante, como nitritos, nitratos o peróxidos.

Aparte de desengrasar, prepara la superficie para obtener una buena resistencia mecánica y química.

- Sobre hierro: Muy buenas resistencias químicas y mecánicas (impacto, adherencia, embutición, etc.). Buena protección anticorrosiva.
- Aluminio y aleaciones: Resultados aceptables tanto en resistencia química como mecánica.
- Hojalata: No es un sistema habitual.
- Hierro zincado o galvanizado: Regularmente da buenos resultados, aunque hay que asegurarse de la calidad del zincado o galvanizado.
- Cadmio: No se utiliza, ya que no hay que aumentar la resistencia a la corrosión.
- Cobre y aleaciones: Proceso no necesario.

4.2.2.1. FOSFATACIÓN AMORFA

Gama de productos diseñada para fosfatación amorfa por proyección e inmersión que ofrecen una resistencia a la corrosión media-alta, ideal para aplicaciones de piezas destinadas a interiores⁶.

4.2.2.2. FOSFATACION MICROCRISTALINA:

Fosfatantes microcristalinos que proporcionan la más alta calidad posible de pretratamiento antes de la pintura, debido a la extrema finura y especial composición de los microcristales que forman la capa de fosfato. Es especialmente indicada para aplicaciones exteriores que deban soportar rigurosas condiciones meteorológicas.

4.2.2.3. FOSFATACIÓN CRISTALINA

Menos usual en su uso que la fosfatación amorfa, de aspecto transparente grisáceo es adecuada para sistemas donde se requiera mayor protección anticorrosiva. Los productos consiguen obtener un alto peso de capa necesario para absorber lubricantes, jabones o aceites protectores, permitiendo desarrollar a la pieza tratada las más altas prestaciones en múltiples procesos industriales.

4.2.3. ELECTROCINCADO

Consiste en la reducción electrolítica de una sal de zinc disuelta en agua mediante una corriente continua. La pieza que se desea proteger se sitúa como cátodo de la célula electrolítica y sobre ella se deposita el zinc. Puede presentar un pobre anclaje en algunos casos para los recubrimientos en polvo debiéndose pretratar con algún tipo de imprimación adherente.



4.2.4. GALVANIZADO

De una forma generalizada diremos que es la inmersión de una pieza de hierro o acero en una cuba de zinc fundido entre 420°C y 520°C. Presenta una excelente resistencia anticorrosiva siendo por lo general más económico que el proceso de electrocincado, por el contrario no es controlable el espesor de este sobre el sustrato a proteger que si es posible por medio de electrocincado. Al igual que en el anterior sistema es importante comprobar la adherencia del recubrimiento en polvo que queremos aplicar dado que a veces presenta dificultades.

4.2.5. CROMATIZADO

Tratamiento adecuado al aluminio y sus aleaciones. Su aplicación se efectúa en caliente (+/-40°C). Al ser un tratamiento caro solo se utiliza para este tipo de soporte. Existen dos tipos de cromatados:

- Cromo-fosfato amorfo: Este baño contiene fosfato fluoruro y cromo VI. La capa después de las cinco etapas normales del tratamiento (limpieza, enjuague, baño, enjuague, lavado ácido) el color gris de la pieza se transforma en un color verdoso.
- Cromo amorfo: Contiene menos cantidad de fluoruro con lo cual hay que desoxidar las piezas anteriormente. Tiene normalmente siete etapas: limpieza, enjuague, desoxidación, enjuague, cromato, enjuague y lavado ácido.

La resistencia a la corrosión del aluminio se basa en la formación de una fina capa de óxido sobre éste. Su espesor de capa media varía entre 0,5 g/m² y 1,5 g/m² y su color desde azulado para capas delgadas a verde oliva para capas gruesas, el espesor más utilizado como pretratamiento en pintura en polvo es aproximadamente de 1g/m² presentando un color amarillento. Una ausencia o inadecuado cromatizado puede favorecer la aparición de corrosión filiforme en los sistemas recubiertos con pintura en polvo.

4.2.6. OTROS TRATAMIENTOS

En el caso de piezas muy oxidadas el tratamiento acostumbra a ser de decapado mecánico (ahorro de arena). Existen otros tipos de tratamientos a base de imprimaciones que en la mayoría de los casos son ricas en Zn.

CAPITULO 5
Marca de Calidad Qualicoat y Qualisteelcoat



5. MARCA DE CALIDAD QUALICOAT Y QUALISTEELCOAT

5.1. INTRODUCCIÓN

ASELAC⁷ –Asociación Española de Lacadores y Pintores de perfiles para ventanas y balconera metálicas se constituyó en 1985 y tuvo su origen en la inquietud por la mejora del sector industrial de perfiles de aluminio. Actualmente ASELAC engloba tanto a lacadores como a fabricantes de pinturas, fabricantes de productos químicos y suministradores de accesorios o servicios.

El objeto fundamental de ASELAC es potenciar al máximo la calidad del lacado, su consumo y la exportación. Es la licenciataria de las marcas QUALICOAT y QUALISTEELCOAT.

5.2. MARCA DE CALIDAD QUALICOAT⁸

El objeto de estas Especificaciones es fijar las exigencias mínimas que deben imponerse a las instalaciones, a los materiales de recubrimiento orgánicos, productos de conversión químicos, a los procesos y a los productos terminados.

5.3. MARCA DE CALIDAD QUALISTEELCOAT⁹

El objetivo de QUALISTEELCOAT es establecer las exigencias mínimas para los aplicadores de revestimientos protectores del acero para trabajos nuevos realizados en plantas.

CAPITULO 6

Procedimiento Experimental



6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6.1. INTRODUCCIÓN

En el presente Proyecto Fin de Carrera se va a evaluar si es viable el pre-tratamiento por plasma atmosférico en aluminios y aceros con recubrimiento en polvo destinados a la arquitectura.

Los materiales o sustratos a evaluar serán Aluminio 5005 (AA5005), Aluminio 6063 (AA6063), Acero al carbono y Acero al carbono galvanizado. Las muestras tendrán dimensiones diferentes, siendo las de aluminio de tamaño 142 x 70mm y las de acero de 153 x 77mm.

Se tomarán tres muestras o probetas por cada material para cada uno de los ensayos. Para estudiar la viabilidad de un nuevo pretratamiento, éste deberá ser comparado con otro diferente. En el caso del proyecto que vamos a abordar, los ensayos se van a realizar sobre probetas con pretratamiento de plasma y sin él. Por tanto, en cada ensayo tendremos tres muestras de cada material con pretratamiento (CT) y otras tres sin pretratar (ST).

La parte experimental se dividirá en dos estudios independientes. Por un lado tendremos los ensayos realizados para el aluminio y por otro los del acero. Todos ellos vendrán definidos por las Normas UNE-EN ISO.

Dependiendo del material, nos basaremos en la Marca de Calidad QUALICOAT para los ensayos realizados sobre el aluminio y QUALISTEELCOAT para los del acero. Además se incluirá el ensayo de tracción que aunque no aparezca en estas Especificaciones, su resultado nos va a ayudar a estudiar la adherencia del recubrimiento al sustrato.

6.2. RECUBRIMIENTO Y SUSTRATOS

Acero, aluminio, cobre, aleaciones de zinc y acero galvanizado son los metales comunes en los que se utilizan recubrimientos en polvo. En una serie de casos en los que se aplican condiciones normales de servicio, pueden obtenerse propiedades satisfactorias limpiando el metal a fondo.

6.2.1. ALUMINIO

El aluminio es un elemento químico, Al. Se trata de un metal no ferromagnético siendo el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre.¹⁰

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales, tales como su baja densidad, su alta resistencia a la corrosión, su baja resistencia mecánica, poca rigidez, ligero y de gran ductilidad. Es un buen conductor de la electricidad y el calor, se mecaniza con facilidad y es muy barato.

El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción. Pero este problema se ve recompensado por su bajo coste de reciclado, su extendida vida útil y la estabilidad de su precio.



Para mejorar sus características, se realizan aleaciones de aluminio con otros metales, siendo la más frecuente la realizada con magnesio, pero también podemos encontrar cobre, manganeso, silicio y zinc.

Para el aluminio y sus aleaciones, aunque las superficies limpias se revisten fácilmente y la adherencia es excelente, el rendimiento puede mejorarse usando una capa de conversión especial de cromato.

6.2.1.1. ALUMINIO 5005

Pertenece a la Serie 5000 de las aleaciones de aluminio cuyo principal aleante es el magnesio (1% Magnesio). Poseen buena soldabilidad y son resistentes a la corrosión marina¹¹.

La aleación 5005 se emplea para la fabricación de perfiles extruídos (en ingeniería naval). También son utilizados para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

6.2.1.2. ALUMINIO 6063

Pertenece a la Serie 6000, cuyo principal aleante es el silicio y el magnesio (0,5% Magnesio y 0,5% Silicio).

Es una aleación de resistencia media que debido a su gran facilidad de extrusión, obtiene características mecánicas adecuadas, un correcto aspecto de superficie y buen coloreado¹². Se emplea casi exclusivamente para fabricación de perfiles extruídos para carpinterías de fachadas, siendo los más comunes los perfiles de aluminio para puertas y ventanas, iluminación, marquesinas, barandillas, manillas, pomos, herrajes, sillas de terraza, campo y playa.

6.2.2. ACERO

Es una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable. Conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas¹³.

Existen muchos tipos de acero en función de los elementos aleantes que estén presentes. La definición en porcentaje de carbono corresponde a los aceros al carbono, en los cuales este no metal es el único aleante.

El acero es un material que tiene facilidad a oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua.

Para superficies de hierro/acero, se obtiene una resistencia máxima a la corrosión y a la sal de pulverización aplicando una capa de conversión de fosfato de zinc.

6.2.2.1. ACERO AL CARBONO

Acero al carbono o acero de construcción constituye una proporción importante de los aceros producidos. Se puede englobar tanto en los aceros para construcción civil como para construcción mecánica. Es maleable, esto significa que es flexible y puede tener cualquier forma.

Está clasificado como de alta resistencia, baja aleación de metal.

Últimamente se tiende a utilizar aceros aleados en detrimento de los aceros al carbono, debido a la necesidad de aligerar pesos tanto para el caso de las estructuras como los requerimientos de menos consumo por peso en los automóviles, unido a la necesidad de reforzar la seguridad ante impactos.

6.2.2.2. ACERO GALVANIZADO

El galvanizado es un tratamiento superficial que se le da a la chapa de acero para protegerles de la oxidación y corrosión. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc sobre hierro; ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Se usa de modo general en el sector de los puentes y las carreteras. Un ejemplo de uso son los cables de soporte del Puente de Brooklyn.

El galvanizado es competitivo en los costos iniciales y minimiza significativamente los costos futuros de mantenimiento¹⁴.

6.2.3. RECUBRIMIENTO EN POLVO UTILIZADO

Para todas las probetas se ha utilizado un recubrimiento en polvo de tipo Poliéster sin TIGC con las siguientes características:

Fabricante: CUBSON

Código: 411.0109

Color: Poliéster blanco sin TGIC

Brillo: Min 85 - Max 95

Condición de curado: 15@180 (15 minutos a 180°C)

Licencia Qualicoat: P-0486



Figura 2 – Recubrimiento en polvo utilizado

6.3. PRETRATAMIENTO DE PLASMA

El tratamiento con plasma atmosférico es utilizado como pretratamiento de superficies que consigue aumentar de manera considerable la energía superficial de plásticos, metal y vidrio. De este modo se incrementa la capacidad receptiva de la superficie lo que facilita los procedimientos posteriores: aplicación de recubrimiento, impresión o adhesión¹⁵.

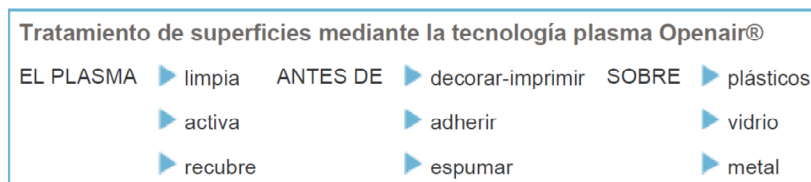


Figura 3 – Características del plasma atmosférico

Debido a su gran potencial, actualmente está presente en casi todos los campos de la industria y crea soluciones eficaces e innovadoras.

El plasma se basa en un principio físico simple. Mediante la aplicación de energía se cambia el estado de la materia de sólido a líquido y de éste a gaseoso. Si se sigue aplicando más energía, éste se ioniza y se convierte en plasma, el cuarto estado de la materia. El plasma, al entrar en contacto con la superficie de cualquier material se libera y se transmite sobre esta superficie, quedando así preparada para posteriores tratamientos. De esta manera se crean superficies con óptimas propiedades para decorar-imprimir, adherir o espumar.

El uso del plasma atmosférico sigue en crecimiento, pudiéndose encontrar en múltiples aplicaciones industriales como pueden ser la industria automovilística, aeronáutica, naval, electrónica, electrodomésticos, médica e incluso textil.

Como hemos venido hablando, este proyecto se centra en la comparativa de usar el plasma atmosférico como pretratamiento en vez de los convencionales.

Éste será aplicado horas antes de su recubrimiento. El primero se realiza en los laboratorios de la universidad y el segundo fuera de ellos.

El plasma atmosférico utilizado es un sistema de Openair® de la empresa Plasmatreat S.L.



Figura 4 – Máquina de plasma atmosférico

La velocidad de aplicación del plasma atmosférico sobre las muestras o probetas será de 1m/min a una altura de 6mm.

6.4. ENSAYOS REALIZADOS EN EL ALUMINIO

Los métodos de ensayos que se van a realizar sobre las dos aleaciones de aluminio de las que disponemos se basan en normas internacionales. Las exigencias han sido especificadas por QUALICOAT, excepto para el ensayo de Tracción.

Los ensayos a realizar sobre este material se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3 – Ensayos realizados en las aleaciones de aluminio

	AA 5005 SIN TRATAMIENTO	AA 5005 CON TRATAMIENTO	AA 6063 SIN TRATAMIENTO	AA 6063 CON TRATAMIENTO
1	BRILLO	BRILLO	BRILLO	BRILLO
2	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR
3	ADHERENCIA	ADHERENCIA	ADHERENCIA	ADHERENCIA
4	DUREZA	DUREZA	DUREZA	DUREZA
5	EMBUTICION	EMBUTICION	-	-
6	PLEGADO	PLEGADO	-	-
7	IMPACTO	IMPACTO	-	-
8	KESTERNICH	KESTERNICH	KESTERNICH	KESTERNICH
9	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO
10	MORTERO	MORTERO	MORTERO	MORTERO
11	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO
12	TRACCION	TRACCION	TRACCION	TRACCION

6.4.1. BRILLO

Este ensayo nos sirve para medir el nivel de brillo del recubrimiento, el cual debe estar dentro de los límites tolerados.

Este ensayo viene marcado según la Norma ISO 2813¹⁶, que especifica la determinación del brillo especular de películas de pintura empleando un reflectómetro con geometría de 20°, 60° ó 85°, siendo no adecuado para la medición de pinturas metalizadas.

El instrumento utilizado ha sido el brillómetro DRLANGE REFO 3 REFLEKTOMETER con P/N: LZM151.



Figura 5 – Brillómetro

PROCEDIMIENTO:

La directriz Qualicoat para este ensayo nos indica que la medida del brillo debe ser con luz incidente a 60° de la normal.

Se tomarán tres probetas de cada uno de los materiales y se realizarán seis medidas en cada una de ellas.

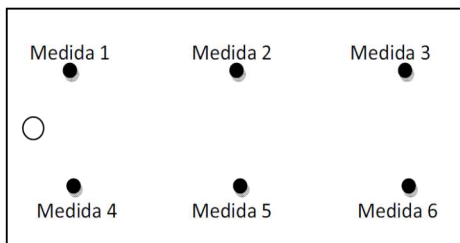


Figura 6 – Plantilla para la toma de valores de brillo

RESULTADO:

Las lecturas realizadas se reflejan en las siguientes tablas:

Aluminio 5005 Sin y Con tratamiento:

Tabla 4 – Lecturas de brillo correspondientes al aluminio 5005 (unidades de brillo)

	AA 5005 ST – 1	AA 5005 ST – 2	AA 5005 ST – 3	AA 5005 CT - 1	AA 5005 CT – 2	AA 5005 CT - 3
Medida 1	87,6	89,3	89,3	85,5	89,8	89,4
Medida 2	89,4	89,3	89,3	89,4	90,2	89,9
Medida 3	89,5	89,1	88,8	88,7	89,1	89,6
Medida 4	89,4	87,8	88,2	86,7	87,9	89,2
Medida 5	89,5	89,2	88,8	88,2	88,9	89,5
Medida 6	89,4	89,8	89	86,3	87,6	89,3

Aluminio 6063 Sin y Con tratamiento:

Tabla 5 - Lecturas de brillo correspondientes al aluminio 6063 (unidades de brillo)

	AA 6063 ST – 1	AA 6063 ST – 2	AA 6063 ST – 3	AA 6063 CT - 1	AA 6063 CT – 2	AA 6063 CT - 3
Medida 1	88,9	88,8	88,1	89	89	88,5
Medida 2	98,4	89,3	88,9	89,3	89	89,1
Medida 3	89,4	89	88,6	88,8	88,8	88,4
Medida 4	88,6	89	88,2	87,3	88,9	88,8
Medida 5	89,6	89,2	88,4	87,8	88,9	88,9
Medida 6	89,4	88,9	89	88,8	86,8	89,2

Según las especificaciones del fabricante del recubrimiento en polvo, tenemos que el valor de brillo ha de comprenderse entre 85 y 95. Como podemos ver en las medidas realizadas sobre las muestras tenemos que esto se cumple.

Las exigencias que nos marca la Especificación Qualicoat se muestra a continuación:

Tabla 6 – Exigencia Qualicoat para el ensayo de brillo

Categoría de Brillo	Intervalo de Brillo	Variación aceptable
1 (mate)	0-30	+/- 5 unidades
2 (semi-mate o semi-brillante)	31-70	+/- 7 unidades
3 (brillante)	71-100	+/- 10 unidades

Las muestras realizadas cumplen las especificaciones del fabricante, hallándose su categoría de brillo en el nivel 3 de las Especificaciones Qualicoat.

6.4.2. ESPESOR

Medición del espesor del recubrimiento sobre las muestras de aluminio.

Se basa en la Norma ISO 2360¹⁷, que especifica un método para la medición no destructiva del espesor de recubrimientos no conductores sobre materiales base no magnéticos con instrumentos basados en las corrientes inducidas sensibles a la variación de la amplitud.

Se ha utilizado un medidor de espesor de recubrimiento digital basado en las corrientes de Foucault de la marca ELCOMETER modelo 456 BASIC F N FNF mostrado en la figura.



Figura 7 – Medidor de espesor

PROCEDIMIENTO:

Se realiza sobre la superficie significativa y en al menos cinco puntos en cada una de las muestras. La siguiente figura muestra los puntos donde se tomarán las medidas para el ensayo:

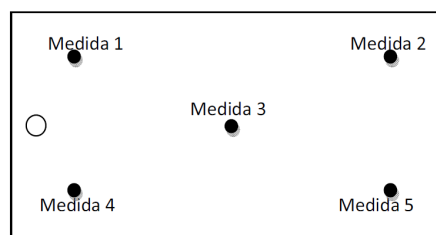


Figura 8 – Plantilla para la toma de valores de los espesores

RESULTADO:

Según las exigencias de Qualicoat ningún valor medido puede ser inferior al 80% del valor mínimo especificado y la media debe ser igual o superior a este valor.

Tabla 7 – Valor mínimo del espesor especificado según Qualicoat

PINTURAS EN POLVO	ESPESOR
Clase 1	60 μm

Si cualquiera de estas dos condiciones no se cumple, se dice que la pieza es “NO CONFORME”.

Los valores obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Aluminio 5005 Sin tratamiento:

Tabla 8 – Lectura del espesor correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	89,8	67,7	72,8	74,4	85,5	77,1	84	89	58,6	66,5
Medida 2	73,6	77,3	78,7	58,5	81	70	78,7	85,8	77,7	79,6
Medida 3	100	96,4	78,6	67	90,6	73,3	89,9	67,8	102	84,9
Medida 4	89,7	74	65,9	64,1	76,3	55,6	66,6	40,9	71,7	81,6
Medida 5	78,1	76,3	82,4	59,2	88,1	56,6	84,7	60,8	95,9	89,3
MEDIA	86,24	78,34	75,68	64,64	84,3	66,52	80,78	68,86	81,18	80,38

La pieza número 8 tiene un valor inferior al 80% (inferior a 48 μm), por tanto esa muestra es “NO CONFORME”.

Aluminio 5005 Con tratamiento:

Tabla 9 – Lectura del espesor correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	60,6	82,6	87,6	72	60,8	83,1	77,9	55,4	112	114
Medida 2	77,9	54,6	59,7	51,6	58,4	65,3	86,8	65,3	103	97,3
Medida 3	96,4	91,8	112	84	96	76	94,9	60,9	118	129
Medida 4	65,5	82,8	96,8	62,3	59,6	72	86,4	64,1	83,4	76,5
Medida 5	64,9	59,3	78,1	68,5	82,8	55,4	109	69,8	100	97,4
MEDIA	73,06	74,22	86,84	67,68	71,52	70,36	91	63,1	103,28	102,84



Todas las piezas de este lote son “CONFORME”.

Aluminio 6063 Sin tratamiento:

Tabla 10 – Lectura del espesor correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	84,4	118	83	45,6	85	71,7	90,4	89,8	63,6	63,6
Medida 2	95,2	108	72,6	65,8	91,9	87,3	79,3	84	76,3	76,3
Medida 3	86,2	105	74,3	43,1	80,7	69,5	68,6	82,5	57	57
Medida 4	91,4	106	77,2	66,3	75,3	53,9	73,5	93	56,5	56,5
Medida 5	86,4	96,9	74,3	65,6	84,5	88,1	65,2	95	63,8	63,8
MEDIA	88,72	106,78	76,28	57,28	83,48	74,1	75,4	88,86	63,44	63,44

La pieza número 4 presenta valores inferiores al 80%. Pieza “NO CONFORME”.

Aluminio 6063 Con tratamiento:

Tabla 11 – Lectura del espesor correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	81,3	64,1	82,1	68,8	73,7	61,3	60	78,6	94,5	54,4
Medida 2	82,6	52,9	67,7	73,5	55,4	69,1	82,9	69,5	87,8	53,8
Medida 3	90,8	78,3	77,1	49	79,1	56,8	64,8	64,1	81,7	63,5
Medida 4	60,4	51,8	77,3	66,7	73,9	60,8	60,2	75,5	93,4	50
Medida 5	64,2	68,8	55,9	61,2	62,2	67,8	71	69,4	81,4	73
MEDIA	75,86	63,18	72,02	63,84	68,86	63,16	67,78	71,42	87,76	58,94

La pieza 10 tiene un valor de espesor medio inferior a 60 μm . Esta pieza es “NO CONFORME”.

6.4.3. ADHERENCIA

El ensayo estudia, la adherencia o adhesión del recubrimiento en polvo sobre el sustrato de aluminio.

Se aplica la Norma ISO 2409¹⁸, la cual describe un método de ensayo para evaluar la resistencia que ofrecen los recubrimientos de pintura a ser separados de sus sustratos cuando se realiza una red cuadrada de incisiones en el recubrimiento.

Para ello se utiliza como instrumento de corte un peine provisto de cuchillas cuya distancia es variable de 1 a 3mm, siendo 2mm la distancia para estos ensayos. También nos encontramos una lupa para poder realizar una visualización del corte realizado sobre el sustrato.



Figura 9 – Instrumento de rayado

La cinta adhesiva utilizada tiene que cumplir la Norma EN 60454-2:2007. Se ha utilizado el modelo “Pressure Sensitive Tape de Scotch, 3M”.

PROCEDIMIENTO:

Según la especificación Qualicoat el espacio de los cortes para espesores comprendidos entre 60 y 120 μm , deben tener una separación en los cortes de 2mm.

En la cara significativa de cada una de las muestras se procede a realizar dos cortes perpendiculares entre sí. Este ensayo es conocido como corte por enrejado.

Se procede a colocar la cinta adhesiva, en la zona central que ha quedado en forma de red, presionando ésta firmemente para que se adhiera bien y procurando que no queden burbujas. Se deja alrededor de un minuto y una vez finalizado éste, se despegar con un tirón fuerte.

RESULTADO:

El grado de desprendimiento producido se compara con la escala de referencia siguiente:

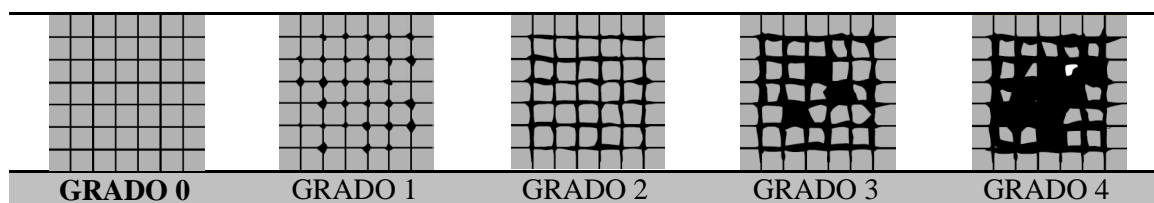


Figura 10 – Escala de referencia para el ensayo de adherencia

Según la Marca de Calidad Qualicoat, el grado permitido en este ensayo es 0, es decir, no tiene que haber desprendimiento en las zonas próximas a los cortes.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:

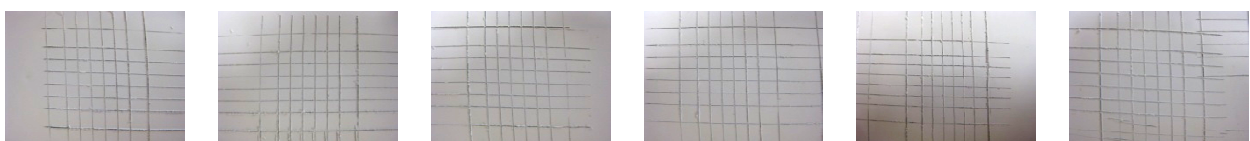
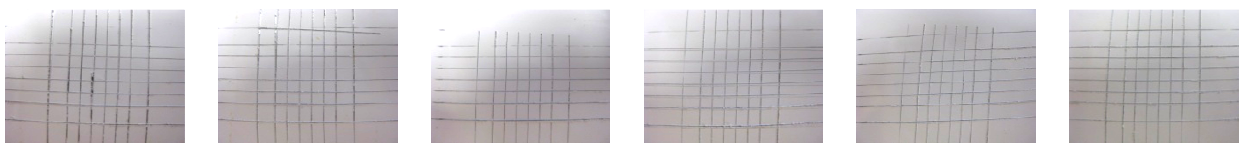
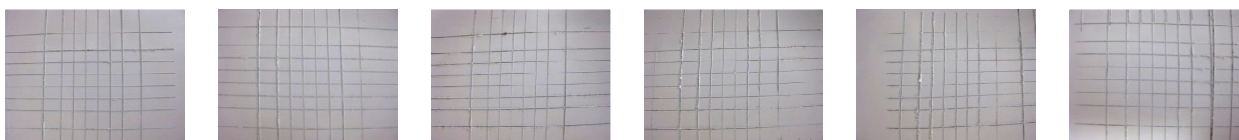


Figura 11 – Ensayo de adherencia correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

Aluminio 5005 Con tratamiento:*Figura 12 – Ensayo de adherencia correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento*Aluminio 6063 Sin tratamiento:*Figura 13 – Ensayo de adherencia correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento*Aluminio 6063 Con tratamiento:*Figura 14 – Ensayo de adherencia correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento*

En ninguna de las muestras sobre las que se ha realizado este ensayo se ha apreciado ningún desprendimiento, nos encontramos en el “Grado 0” de la escala de referencia. Este ensayo “PASA”.

6.4.4. DUREZA

Se estudia la dureza que presenta el recubrimiento al ser depositado sobre él un cuerpo de 1 kg y con acabado afilado.

Se aplica la Norma ISO 2815¹⁹, la cual especifica un método para realizar un ensayo de indentación sobre una película simple o un sistema multicapa de pintura, barniz o producto afín, empleando un indentador Buchholz. La longitud de la huella producida es indicativa de la deformación residual de la película.

El indentador Buchholz utilizado es el que se muestra en la siguiente figura, de la marca NEURTEK:

*Figura 15 – Indentador Buchholz*

También se emplea una lupa y una regla para medir la longitud de la huella.

PROCEDIMIENTO:

Se toman tres muestras por cada material a estudiar. El indentador Buchholz se deposita sobre la muestra durante 30s. Se toma la medida de la longitud que haya dejado la huella.

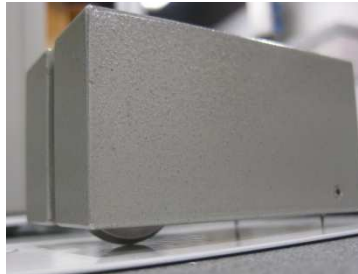


Figura 16 – Realización del ensayo de dureza

La huella dejada es como la que se muestra en la siguiente imagen:

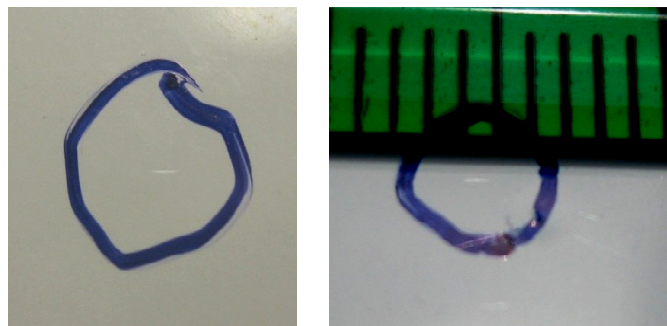


Figura 17 – Huellas correspondientes al ensayo de dureza

RESULTADO:

La resistencia a la penetración se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia (Buchholz)} = \frac{100 \text{ mm}}{\text{longitud huella}}$$

La Marca de Calidad Qualicoat exige que el resultado tenga que ser mínimo 80 al espesor de recubrimiento especificado. Como hemos estudiado en el ensayo de espesor, el valor mínimo es de 60µm, por tanto tenemos que nuestros valores de resistencia tienen que ser superior a 48.

Aluminio 5005 Sin y Con tratamiento:



Tabla 12 – Longitud de la huella en el ensayo de dureza correspondiente al aluminio 5005 (mm)

	AA5005 ST-1	AA5005 ST-2	AA5005 ST-3	AA5005 CT-1	AA5005 CT-2	AA5005 CT-3
Huella (mm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Resistencia	>100	>100	>100	>100	>100	>100

Aluminio 6063 Sin y Con tratamiento:

Tabla 13 – Longitud de la huella en el ensayo de dureza correspondiente al aluminio 6063 (mm)

	AA6063 ST-1	AA6063 ST-2	AA6063 ST-3	AA6063 CT-1	AA6063 CT-2	AA6063 CT-3
Huella (mm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Resistencia	>100	>100	>100	>100	>100	>100

La huella dejada en todos los casos es difícil de medir, puesto que ha sido muy parecida a la que se muestra en las figuras anteriores.

El valor obtenido de Resistencia sería en todos los casos alrededor de 100, por tanto este ensayo “PASA” para todas las muestras.

6.4.5. ENSAYO DE EMBUTICION

Se aplica la Norma ISO 1520²⁰, la cual especifica un procedimiento de ensayo empírico para evaluar la resistencia de un recubrimiento al agrietamiento y/o desprendimiento de un sustrato metálico, cuando es sometida a una deformación gradual por embutición en condiciones normalizadas.

Se utiliza para evaluar la ductilidad de materiales metálicos en lámina. Para ello, hacemos que una esfera de acero se pose sobre el material y lo deforme la profundidad marcada según el ensayo que vayamos a realizar.

El instrumento utilizado se muestra en la siguiente figura y de la marca NEURTEK:



Figura 18 – Instrumento de embutición

PROCEDIMIENTO:

Este ensayo sólo se va a realizar en el aluminio 5005 con y sin tratamiento, tal y como marca las Especificaciones Qualicoat.

Se coloca la muestra en el instrumento de embutición tal cual aparece en la fotografía y se gira la maneta hasta alcanzar 5mm, según nos marca la Marca Qualicoat para este tipo de ensayo.



Figura 19 – Colocación de la muestra en el instrumento de embutición

Se realizan dos embuticiones por cada muestra.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:



Figura 20 – Ensayo de embutición correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

Aluminio 5005 Con tratamiento:

Figura 21 – Ensayo de embutición correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

RESULTADO:

Según lo establecido en la marca de calidad, este ensayo se encuadra dentro de los ensayos “PASA/NO PASA”. Se realiza una inspección visual de las muestras y éstas no deben mostrar ningún tipo de fisuración, ni desprendimiento.

En ninguno de los casos ha mostrado fisuración ni desprendimiento alguno. Este ensayo “PASA”.

6.4.6. RESISTENCIA A LA FISURACIÓN DURANTE EL PLEGADO

Se sigue la Norma ISO 1519²¹, que especifica un procedimiento de ensayo para evaluar la resistencia de los recubrimientos frente al agrietamiento y/o al desprendimiento del sustrato metálico o plástico cuando se someten a un proceso de plegado sobre un mandril cilíndrico en condiciones normalizadas.

El instrumento utilizado pertenece a la marca NEURTEK. Dobla o pliega con facilidad las láminas metálicas según un radio de curvatura dado por el diámetro del mandril que utilizemos.



Figura 22 – Instrumento de plegado

PROCEDIMIENTO:

Este ensayo sólo se va a realizar sobre el aluminio 5005.

El plegado se produce alrededor de un mandril de 5mm tal cual marca la Especificación Qualicoat.



Figura 23 – Muestra de realización del ensayo de plegado

El ensayo se realiza sobre tres muestras de cada uno de los aluminios de los que disponemos.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:



Figura 24 – Ensayo de plegado correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

El círculo rojo marca una pequeña fisuración:



Figura 25 – Fisura localizada en una de las muestras del aluminio 5005 sin tratamiento

Aluminio 5005 Con tratamiento:



Figura 26 – Ensayo de plegado correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

RESULTADO:

Se realiza una inspección visual de las diferentes muestras y éstas no tienen que mostrar ningún tipo de fisura o desprendimiento del recubrimiento. Su resultado es un tipo “PASA/NO PASA”.

En las aleaciones 5005 sin tratamiento se obtiene como resultado del ensayo “NO PASA”. En cambio, el ensayo con tratamiento “PASA”.

6.4.7. ENSAYO DE IMPACTO

Se sigue la Norma ISO 6272-2²² que evalúa la resistencia de un recubrimiento frente al agrietamiento o al desprendimiento de un sustrato, cuando se somete a la deformación provocada por la caída de una masa, en condiciones normalizadas, sobre un percutor esférico de pequeña superficie.

El instrumento es de la empresa NEURTEK. Sirve para lanzar una masa determinada y con un diámetro de bola específico, desde una altura dada sobre la probeta.



Figura 27 – Impactómetro

PROCEDIMIENTO:

Este ensayo al igual que los otros dos anteriores, sólo se realizará para el aluminio 5005.

Según nos marca la Especificación Qualicoat para polvos de clase 1, el trabajo ha de ser de 2,5Nm y el diámetro de la esfera de la masa de impacto ha de ser de 15,9mm. Por tanto, se lanza ésta desde una altura de 25cm.

Se realizan 5 impactos por cada muestra. Éstos deben realizarse por la cara no lacada, para realizar el examen por la cara significativa. Es decir, se evaluará el impacto indirecto.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:



Figura 28 – Ensayo de impacto correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

Los círculos rojos muestran fisuras en el revestimiento:



Figura 29 – Fisuras localizadas en las muestras del ensayo de impacto del aluminio 5005 sin tratamiento

Aluminio 5005 Con tratamiento:



Figura 30 – Ensayo de impacto correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

En estas muestras también se aprecian unas fisuras:



Figura 31 – Fisuras localizadas en las muestras del ensayo de impacto del aluminio 5005 con tratamiento

RESULTADO:

Se inspecciona visualmente la deformación mecánica producida por el impacto y el revestimiento no debe presentar ni fisuras ni desprendimientos. Es un ensayo “PASA/NO PASA”.

Como pueden verse se muestran fisuras tanto en las muestras sin tratamiento como en las pretratadas con plasma, por tanto este ensayo “NO PASA”.

6.4.8. RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS CONTENIENDO DIÓXIDO DE AZUFRE

Se utiliza la Norma ISO 3231²³ que especifica un procedimiento para determinar la resistencia de un recubrimiento, a las atmósferas húmedas que contienen dióxido de azufre.

La cámara utilizada es el modelo VCK 300 de la empresa DYCOMETAL.

Simula la corrosión que sufren los recubrimientos en ambientes industriales o urbanos con altas concentraciones de contaminación. Para ello tiene un sistema de introducción de dióxido de azufre y de salida de éste.

Este ensayo es conocido también bajo el nombre de Ensayo de Kesternich.



Figura 32 – Cámara Kesternich

PROCEDIMIENTO:

Según la Especificación Qualicoat al ser un ensayo de corrosión, se debe realizar una cruz en la muestra, descrita según la Norma ISO 17872²⁴. Ésta debe empezar a 20mm del borde y el ancho de la incisión debe ser aproximadamente de un milímetro de ancho y con la profundidad suficiente para poder llegar al sustrato. En la siguiente figura se puede observar cómo quedaría:

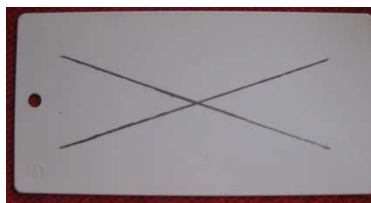


Figura 33 – Incisión en cruz para ensayos de corrosión

La colocación de las muestras en la cámara ha de ser en vertical según indica la Norma:



Figura 34 – Muestras en la cámara climática, Ensayo Kesternich

El ensayo Kesternich comprende un ciclo de 24 horas divididas en dos partes: la primera comprende 8 horas con la cámara cerrada y las piezas en su interior, expuestas a $40^{\circ}\text{C} \pm 2$ en el que se introduce 0,2 l de SO_2 con una Humedad Relativa del 100%.

Pasado este tiempo, se continúa con la segunda parte que corresponde a 16 horas de apagado de la cámara, donde se abre la puerta para que las piezas queden expuestas a la temperatura ambiente y se elimine el SO_2 de la cámara.

Qualicoat nos dice que la duración de este ensayo se llevará a cabo en 24 ciclos.

Con el uso de un calibre digital se anotarán los valores en milímetros del largo y el ancho de las ampollas generadas durante el ensayo. Sólo se tomarán en cuenta aquellas que se sitúen alrededor de la incisión. Con estos valores se procede a calcular el factor de corrosión o ataque (le llamaremos f_c) mediante la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{\sum(a * b) * 100}{d1 + d2}$$

Donde:

*$a*b$ (mm²) se corresponde al largo (mm) y al ancho (mm) de la ampolla generada alrededor de la incisión*

100 mm es la extrapolación del valor de la diagonal que nos marca la especificación Qualicoat.

$d1+d2$ es la suma de las diagonales de la incisión realizada en el ensayo (240 mm)

RESULTADO:

La exigencia nos dice que no debe haber cambios de color ni ampollamiento mayor de 2(S2) según la norma ISO 4628-2²⁵. Están permitidos ataques de 16mm² (valor de f_c), pero ningún ataque puede exceder 4mm (valor de a o b).

La siguiente figura muestra el patrón fotográfico definido en la Norma 4628-2 para valorar el grado de ampollamiento. Describe las ampollas de un recubrimiento en términos de cantidad (densidad).

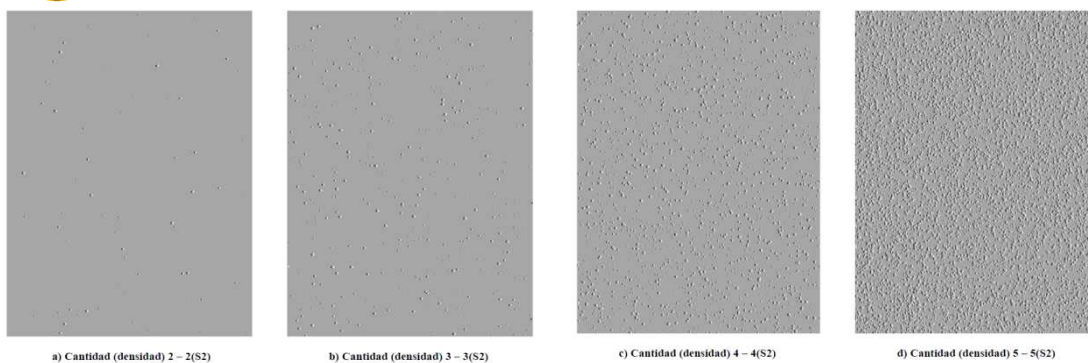


Figura 35 – Patrón de referencia del ampollamiento S2

Aluminio 5005 Sin tratamiento:



Figura 36 – Ensayo de Kesternich correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

Se obtiene un valor de corrosión superior a 16mm², por tanto este ensayo “NO PASA”.

Aluminio 5005 Con tratamiento:



Figura 37 – Ensayo de Kesternich correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

El ampollamiento encontrado a lo largo de la incisión ha sido menor que sin tratamiento. Este ensayo “PASA”.

Aluminio 6063 Sin tratamiento:



Figura 38 – Ensayo de Kesternich correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento

No se aprecia ningún tipo de ampollamiento. Este ensayo “PASA”.

Aluminio 6063 Con tratamiento:

Figura 39 – Ensayo de Kesternich correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento

Se aprecian ligeras ampollitas a lo largo de toda la incisión. El ataque de corrosión calculado no supera los 16mm², por tanto este ensayo “PASA”.

6.4.9. ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Se utiliza para determinar la resistencia frente a la decoloración y pérdida de brillo durante su exposición al exterior, es decir el efecto que provoca el sol y el agua en el revestimiento con el tiempo.

Se aplica la Norma ISO 11341²⁶, que especifica un procedimiento para la exposición de recubrimientos de pintura a envejecimiento artificial en aparatos con lámpara de arco de xenón, incluyendo la acción de agua líquida o de vapor de agua. Los efectos de este envejecimiento se evalúan separadamente por determinación comparativa de parámetros previamente seleccionados antes, durante y después del envejecimiento.

Se ha utilizado la cámara modelo SOLARBOX 3000E de NEURTEK INSTRUMENT. Como características principales cabe destacar:

- Control de Irradiancia: La energía radiante es producida mediante una lámpara de Xenón, la cual es controlada mediante sensores para un trabajo óptimo y efectivo de ésta.
- Control de temperatura: La temperatura es un factor clave en la degradación de los materiales. El calor recibido por la lámpara de Xenón es controlado por un BST (termómetro patrón negro) situado en el plano donde se colocarán los ensayos.
- Simulación del efecto del agua y humedad: Se produce mediante la inundación del plano de muestras en intervalos de tiempo controlados.



Figura 40 – Cámara de envejecimiento acelerado

PROCEDIMIENTO:

Al igual que en el resto de ensayos se toman tres muestras de cada material y se toman las medidas de color y brillo antes y después del ensayo para comparar la evolución de estos parámetros.

Los datos de brillo se realizan con el brillómetro utilizado para el ensayo de de este mismo nombre, descrito en el punto 6.4.1 BRILLO.

En el caso del color, se ha utilizado un colorímetro de la marca GretagMacbeth®, Modelo ColorEye XTH.



Figura 41 – Colorímetro

Los valores marcados por la marca de calidad Qualicoat para este ensayo y que se debe programar en la cámara serían:

- Potencia luminosa: 550 W/m².
- Temperatura panel negro: 65°C.
- Ciclos de 102 minutos en medio seco y 8 minutos en medio húmedo
- Duración: 1000 horas.

Para este ensayo no se ha tenido en cuenta la humedad relativa, ya que la cámara no dispone de control de humedad.

Las probetas se adhieren a la rejilla mediante un adhesivo, para evitar que éstas se muevan en el ciclo de inmersión y que se tapen unas a otras durante la exposición. La distribución de muestras se quedaría de la siguiente manera:



Figura 42 – Muestras en la cámara envejecimiento acelerado

La cámara se controla diariamente para comprobar que los niveles de agua, radiación, temperatura del BST, intensidad de la lámpara, etc., no hayan variado. También se controla el número de horas restantes a la finalización del ensayo.

Una vez finalizadas las 1000 horas del ensayo, se procede a retirar la rejilla. El resultado de las muestras es como el que se muestra a continuación:

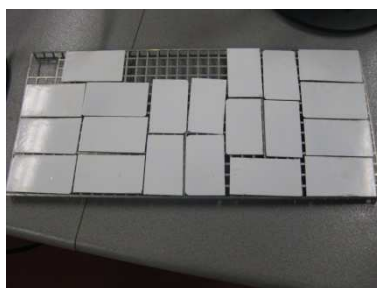


Figura 43 – Imagen de las muestras una vez finalizado el ensayo

Se despegan las muestras y se limpian con agua destilada, para eliminar los posibles restos de suciedad o cal depositados en las muestras durante el ensayo.

RESULTADO:

El colorímetro nos proporciona los valores de 'L', 'a' y 'b', parámetros relacionados con la luminosidad del color (o la variación del color hacia rojo/verde y azul/amarillo, respectivamente), con los cuales obtendríamos la diferencia de color o Delta E (ΔE).

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

Donde:

1 = panel de referencia.

2 = panel de ensayo.

El panel de referencia es cualquier panel que no haya sufrido ningún tipo de ensayo.

Las exigencias marcadas por Qualicoat nos señalan:

Pérdidas de brillo: no puede ser superior al 50% del valor inicial. Se calcula mediante el brillo residual.



Cambio de color: de acuerdo con los valores de ΔE para el RAL correspondiente. En nuestro caso tenemos el RAL 9010, cuyo valor DELTA E es 2.0 (Este valor aparece en el Apéndice A7 de la Marca de Calidad Qualicoat⁸).

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos de brillo y color para cada uno de los materiales empleados en este ensayo.

El brillo residual se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Brillo residual} = 100 - \left(\frac{\text{Brillo inicial} - \text{Brillo final}}{\text{Brillo inicial}} * 100 \right)$$

Donde:

Brillo inicial = medida de brillo tomada antes del ensayo.

Brillo final = medida de brillo tomada después del ensayo.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:

Brillo:

Tabla 14 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL		BRILLO FINAL		BRILLO RESIDUAL	
	AA 5005 ST – 1	AA 5005 ST – 2	AA 5005 ST – 1	AA 5005 ST – 2	AA 5005 ST - 1	AA 5005 ST - 1
Medida 1	88,1	88,9	48,3	60,7	54,82	54,82
Medida 2	90,2	89,2	46,8	79,6	51,88	51,88
Medida 3	85,7	88,9	76,8	73,2	89,61	89,61
MEDIA	88,00	89,00	57,30	71,17	65,11	65,11

Color:

Tabla 15 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

	1	2	
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2
L	95,96	96,22	95,6
A	-1,14	-1,1	-1,13
B	0,58	0,35	0,45
ΔE		0,3494	0,1435

Los valores de brillo residual se sitúan por encima del 50% y el valor de ΔE está dentro del valor marcado.

Aluminio 5005 Con tratamiento:

Brillo:



Tabla 16 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL		BRILLO FINAL		BRILLO RESIDUAL	
	AA 5005 CT – 1	AA 5005 CT – 2	AA 5005 CT – 1	AA 5005 CT – 2	AA 5005 CT - 1	AA 5005 CT - 1
Medida 1	85,5	89,8	69,5	60,3	81,29	67,15
Medida 2	89,4	90,2	70,2	82,1	78,52	91,02
Medida 3	88,7	89,1	66,7	80,9	75,20	90,80
MEDIA	87,87	89,70	68,80	74,43	78,30	82,98

Color:

Tabla 17 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

	1	2	
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2
L	95,75	96,5	95,88
A	-1,09	-1,04	-1,1
B	0,99	0,49	0,03
ΔE		0,9027	0,9688

Los valores de brillo y color se encuentran dentro de las exigencias definidas.

Aluminio 6063 Sin tratamiento:

Brillo:

Tabla 18 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL		BRILLO FINAL		BRILLO RESIDUAL	
	AA 6063 ST – 1	AA 6063 ST - 2	AA 6063 ST – 1	AA 6063 ST – 2	AA 6063 ST – 1	AA 6063 ST - 2
Medida 1	84,6	88,2	81,29	67,15	96,09	76,13
Medida 2	86,7	87,6	78,52	81,02	90,57	92,49
Medida 3	86,1	85,2	75,20	80,80	87,34	94,84
MEDIA	85,80	87,00	78,34	76,32	91,26	87,73

Color:



Tabla 19 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento

	1	2	
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2
L	96,46	95,93	95,68
A	-1,1	-1,15	-1,1
B	0,67	0,09	0,2
ΔE		0,7872	0,9106

Los valores de brillo y color están dentro de las exigencias definidas.

Aluminio 6063 Con tratamiento:

Brillo:

Tabla 20 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL		BRILLO FINAL		BRILLO RESIDUAL	
	AA 6063 CT – 1	AA 6063 CT - 2	AA 6063 CT – 1	AA 6063 CT – 2	AA 6063 CT – 1	AA 6063 CT - 2
Medida 1	89,9	88,5	76,9	71,9	85,54	81,24
Medida 2	86,6	88,7	83,3	80	96,19	90,19
Medida 3	84,8	87,1	77,3	74,5	91,16	85,53
MEDIA	87,1	88,1	79,17	75,47	90,90	85,66

Color:

Tabla 21 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento

	1	2	
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2
L	95,45	96,2	96,1
A	-1,09	-1,1	-1,07
B	0,11	0,17	0,16
ΔE		0,7525	0,6522

Igual que en el resto de casos, los valores de brillo y color están dentro de las exigencias que marca Qualicoat.

Este ensayo “PASA”.

6.4.10. RESISTENCIA AL MORTERO

Con este ensayo se simula la corrosión producida en puertas y ventanas cuando son colocadas debido a la acción del cemento con el que se sujeta.



Se sigue la Norma ISO 12206-1²⁷. Ésta especifica los requisitos y los métodos de ensayo correspondientes, exigibles a los recubrimientos orgánicos para extrusionados, planchas y perfiles de aluminio y sus aleaciones empleados en arquitectura.

La cámara climática utilizada para este ensayo es el modelo CCM 25/81 de la empresa DYCOMETAL.

Permite realizar ensayos acelerados de corrosión sometidos a condiciones extremas de temperatura y humedad.



Figura 44 – Cámara climática

PROCEDIMIENTO:

Se comienza preparando el mortero mezclando:

- 15g cal hidratada.
- 41g cemento.
- 244g arena.
- Agua.

La mezcla quedaría tal cual podemos observar en la fotografía:



Figura 45 – Mezcla de mortero

Con la mezcla realizada y las muestras colocadas en las bandejas de la cámara climática, se aplican cuatro porciones de mortero de unos 15 mm de diámetro y 6 mm de grosor en cada probeta, tal como muestra la siguiente imagen:



Figura 46 – Colocación de las muestras ensayo mortero

Se coloca el panel de ensayo en horizontal y se programa la cámara a $38 \pm 3^\circ\text{C}$ y 95% de humedad relativa durante 24 horas.

RESULTADO:

Una vez pasadas las 24 horas que nos marca la Norma, la Especificación Qualicoat para este tipo de ensayos nos dice que el mortero debe poder quitarse fácilmente, sin dejar residuos. Cualquier daño mecánico causado debido a la acción mecánica de los granos de arena, no serán tomados en consideración.

Cualquier cambio en el aspecto/color de los revestimientos no excederá el grado 1 de la escala de referencia.

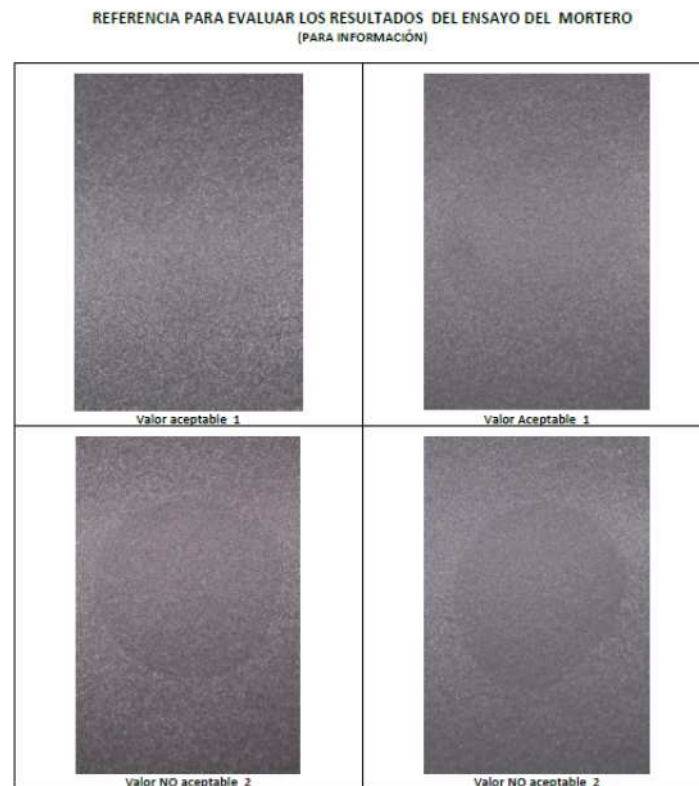


Figura 47 – Escala de referencia ensayo de mortero

No se observan restos de mortero ni huella en ninguno de los ensayos efectuados. A continuación se pueden ver algunas figuras de la zona donde se hallaba el mortero, para cada uno de los sustratos.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:



Figura 48 – Ensayo de mortero correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento

Aluminio 5005 Con tratamiento:



Figura 49 – Ensayo de mortero correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento

Aluminio 6063 Sin tratamiento:



Figura 50 – Ensayo de mortero correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento

Aluminio 6063 Con tratamiento:



Figura 51 – Ensayo de mortero correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento

Este ensayo “PASA”.

6.4.11. RESISTENCIA AL AGUA HIRVIENDO

La Marca de Calidad Qualicoat especifica dos métodos de realización de dicho ensayo:

Método 1: Agua hirviendo.

Método 2: Olla hirviendo.

El realizado en el proyecto ha sido el método 1, agua hirviendo.

No se especifica ningún tipo de Norma para la realización de este ensayo.

PROCEDIMIENTO:

Para la realización de este ensayo se ha necesitado:

Cacerola o similar.

Agua desmineralizada (máximo 10µs a 20°C) tomada del laboratorio de la universidad.

Fuego de cocina.

Se procede a calentar el agua desmineralizada en la cacerola y una vez ésta empiece a hervir, se sumergen las muestras. Como éstas han de situarse en posición vertical se ha desarrollado un sistema de sujeción tanto superior como inferior para así poder evitar las colisiones entre las muestras. En la siguiente figura se muestra el sistema de sujeción y la ejecución del ensayo.

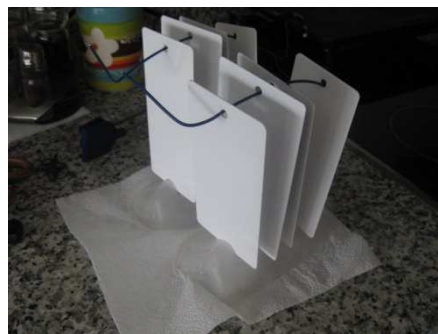


Figura 52 – Sujeción de las muestras de ensayo



Figura 53 – Realización del ensayo de agua hirviendo

Las muestras deben permanecer en agua hirviendo durante dos horas. Una vez terminado este tiempo, se sacan de la cacerola y se dejan enfriar a temperatura ambiente.

Se aplica sobre la superficie una cinta adhesiva, se presiona fuertemente para que no queden burbujas de aire y después de un minuto se procede a retirarla con una tracción fuerte y uniforme bajo un ángulo de al menos 45°.



Figura 54 – Colocación de la cinta adhesiva

RESULTADO:

Según la Especificación Qualicoat para este tipo de ensayo, no puede existir ampollamiento mayor de 2(S2) según la norma ISO 4628-2, defectos ni desprendimientos, pero sí sería admisible una alteración del color.

Tenemos el mismo caso de ampollamiento que en el ensayo de dióxido de azufre. Ver Figura 35 – Patrón de referencia del ampollamiento S2.

Ninguna de las muestras estudiadas ha presentado ningún tipo de ampollamiento, defecto, desprendimiento ni cambio en el color.

El resultado del ensayo es “PASA” para todas las muestras.

6.4.12. TRACCIÓN INDIRECTA

Este ensayo resulta de utilidad para comparar la adherencia del recubrimiento.

Se utiliza la Norma ISO 4624²⁸, la cual describe métodos para determinar la adherencia empleando un ensayo de tracción sobre películas, simples o multicapa, de pinturas, barnices o productos afines.

La máquina utilizada es el modelo EM2/200/FR de la empresa MICROTEST, con capacidad de 200kN. El transductor de fuerza, de la misma compañía, es el modelo TSC-1/1kN.

Estas máquinas de ensayos cubren una amplia gama de rangos de carga, para ensayos de tipo estático o cuasi estático y para todo tipo de materiales. Como principales características cabe destacar:

- La carga es aplicada mediante un sistema de doble husillo, que junto a las columnas proporcionan una alta rigidez y estabilidad al conjunto.
- El puente inferior móvil es accionado por el husillo a bolas y guiado en su movimiento por las columnas laterales.
- Los husillos son de doble efecto y se controlan por motor de corriente continua.
- Al ser un sistema electromecánico tiene un mantenimiento mínimo y no requiere de gran espacio para su ubicación.
- El rango de velocidades se puede ajustar entre 0-200mm/min.

El control y medida de los ensayos se efectúa con ordenador, empleándose el programa SCM3000 de Microtest.



Figura 55 – Máquina de tracción

Para la realización de este ensayo, además de la máquina descrita, los siguientes elementos:

- Muestras de aluminio 5005, 6063 con y sin pretratamiento. Tres muestras por cada uno de ellos.
- La velocidad de ensayo será de 1mm/min.
- Sufrideras de ensayo de 20mm de diámetro.
- Instrumento de corte. Cilindro hueco dentado de diámetro interior de 20mm para cortar el adhesivo curado y la película de pintura hasta llegar al sustrato alrededor de la sufridera.
- Adhesivo de la marca LOCTITE modelo Super Glue-3 Precision.



PROCEDIMIENTO:

Uno de los valores que nos indica la Norma que ha de poseer el informe sobre el ensayo de tracción es el espesor de la película. Se empezará tomando este dato de todas las muestras que se van a utilizar.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:

Tabla 22 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al aluminio 5005 sin tratamiento (μm)

AA5005ST	1	2	3
Medida 1	85,5	77,1	84
Medida 2	81	70	78,7
Medida 3	90,6	73,3	89,9
Medida 4	76,3	55,6	66,6
Medida 5	88,1	56,6	84,7
MEDIA	84,3	66,52	80,78

Aluminio 5005 Con tratamiento:

Tabla 23 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al aluminio 5005 con tratamiento (μm)

AA5005CT	1	2	3
Medida 1	60,8	83,1	77,9
Medida 2	58,4	65,3	86,8
Medida 3	96	76	94,9
Medida 4	59,6	72	86,4
Medida 5	82,8	55,4	109
MEDIA	71,52	70,36	91

Aluminio 6063 Sin tratamiento:

Tabla 24 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al aluminio 6063 sin tratamiento (μm)

AA6063ST	1	2	3
Medida 1	85	71,7	90,4
Medida 2	91,9	87,3	79,3
Medida 3	80,7	69,5	68,6
Medida 4	75,3	53,9	73,5
Medida 5	84,5	88,1	65,2
MEDIA	83,48	74,1	75,4

Aluminio 6063 Con tratamiento:

Tabla 25 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al aluminio 6063 con tratamiento (μm)

AA6063CT	1	2	3
Medida 1	73,7	61,3	60
Medida 2	55,4	69,1	82,9
Medida 3	79,1	56,8	64,8
Medida 4	73,9	60,8	60,2
Medida 5	62,2	67,8	71
MEDIA	68,86	63,16	67,78

El adhesivo será depositado sobre la sufridera y ésta a su vez sobre la muestra presionando firmemente para asegurarnos una unión firme y uniforme entre los componentes del montaje por ensayo. El tiempo de secado del adhesivo será de veinticuatro horas. Una vez transcurrido este tiempo, las muestras estarán listas para ser sometidas al ensayo de tracción.

Tomando especial cuidado se procederá al corte del adhesivo y la pintura mediante el instrumento de corte.

Se coloca la muestra en la máquina de tracción, tal cual se muestra en la siguiente figura:



Figura 56 – Colocación sufridera en ensayo tracción

Se anota el esfuerzo en tracción aplicado para producir la rotura y se repite el ensayo de tracción para cada montaje por ensayo preparado.

RESULTADO:

Los datos a evaluar en el presente ensayo serán dos, la tensión de rotura y la naturaleza de ésta.

La Tensión de rotura σ , en megapascuales (MPa), viene dada por la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde F = fuerza de rotura, en Newton, valor obtenido en el ensayo de tracción.

A = área de la sufridera, en milímetros cuadrados.

Como tenemos que la sufridera es de 20mm de diámetro, la fórmula de la tensión de rotura se simplifica:

$$\sigma = \frac{F}{(10)^2\pi} = \frac{F}{314}$$

Los valores de la fuerza de rotura obtenidos en el ensayo y el cálculo de la tensión de rotura calculado se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 26 – Tensiones de rotura, valor medio y desviación estándar correspondientes al aluminio.

MATERIAL		SIN TRATAMIENTO		CON TRATAMIENTO	
		F (N)	σ (MPa)	F (N)	σ (MPa)
ALUMINIO 5005	Muestra 1	175	0,56	327	1,04
	Muestra 2	271	0,86	360	1,15
	Muestra 3	237	0,75	462	1,47
	VALOR MEDIO	-	0,72	-	1,22
	DESVIACION ESTANDAR	-	0,15	-	0,22
ALUMINIO 6063	Muestra 1	199	0,63	395	1,26
	Muestra 2	407	1,3	359	1,14
	Muestra 3	256	0,82	432	1,38
	VALOR MEDIO	-	0,92	-	1,26
	DESVIACION ESTANDAR	-	0,35	-	0,12

Los valores obtenidos se pueden observar y comparar en las siguientes gráficas:

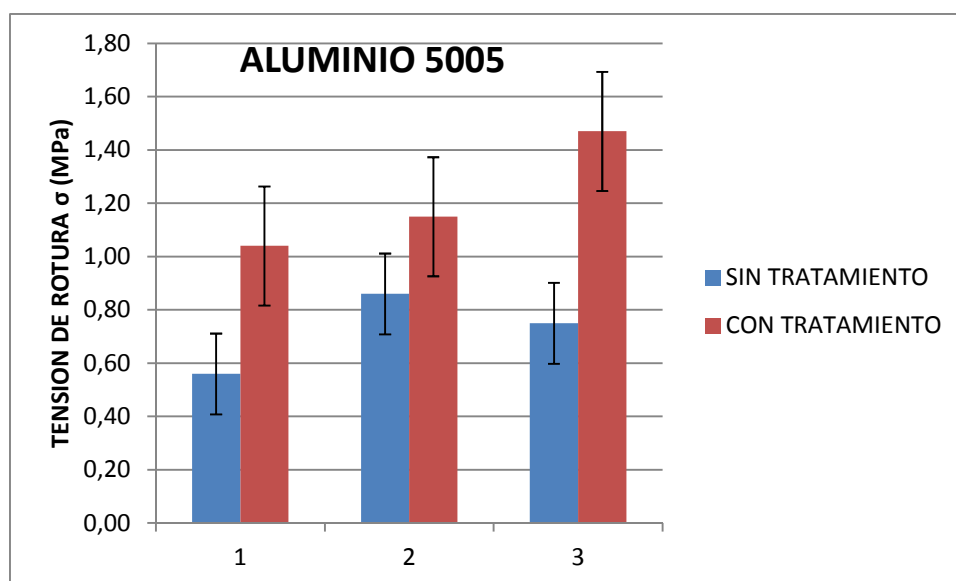


Figura 57 – Tensiones de rotura correspondientes al aluminio 5005

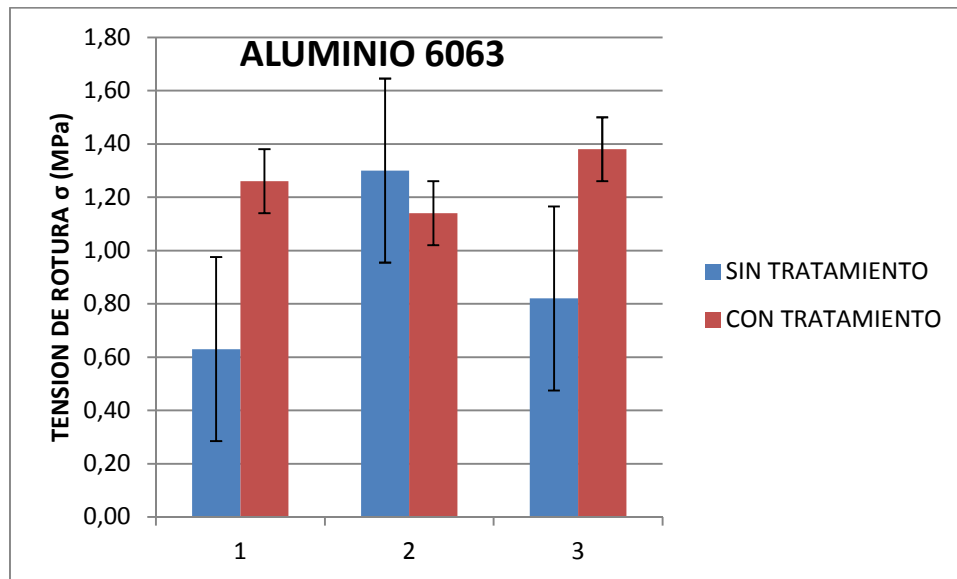


Figura 58 – Tensiones de rotura correspondientes al aluminio 6063

Se observa que el tratamiento hace que la tensión de rotura sea mayor en el caso de los aluminios pretratados con plasma atmosférico.

La Naturaleza de la rotura es una valoración que se obtiene visualmente de observar las superficies tanto en el lado del recubrimiento como en el de la sufridera. El planteamiento se ha basado en la Norma ISO del ensayo, pero la valoración no ha seguido la estricta aplicación de ésta.

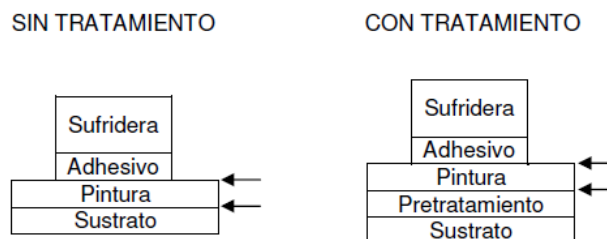


Figura 59 – Montaje y zonas de rotura en el ensayo de tracción

De la figura podemos valorar:

- Rotura Adhesivo-Pintura – Se considera una buena rotura que nos indica un alto grado de adherencia del recubrimiento al sustrato.
- Rotura Pintura-Sustrato o Pintura-Pretratamiento – Se considera una mala rotura que indica el bajo grado de adherencia del recubrimiento. Puede ser debido a una mala aplicación de la pintura sobre el metal.

Aluminio 5005 Sin tratamiento:

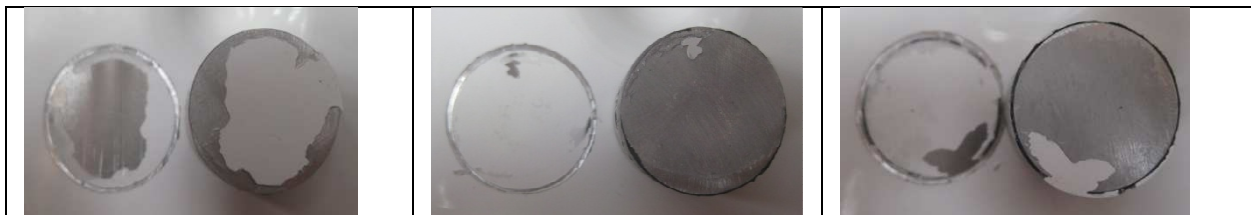


Figura 60 – Huella de la rotura producida en el aluminio 5005 sin tratamiento en el ensayo de tracción

Aluminio 5005 Con tratamiento:



Figura 61 – Huella de la rotura producida en el aluminio 5005 con tratamiento en el ensayo de tracción

Aluminio 6063 Sin tratamiento:



Figura 62 – Huella de la rotura producida en el aluminio 6063 sin tratamiento en el ensayo de tracción

Aluminio 6063 Con tratamiento:

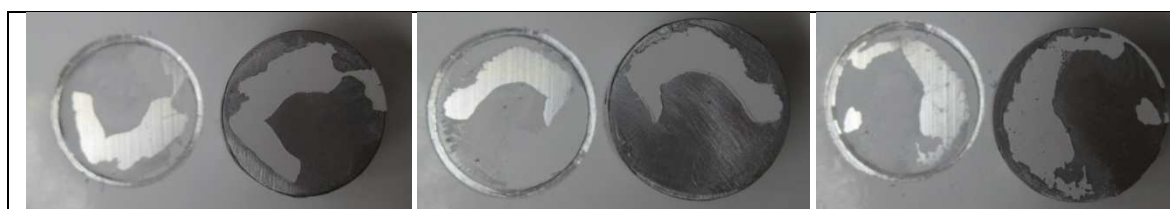


Figura 63 – Huella de la rotura producida en el aluminio 6063 con tratamiento en el ensayo de tracción

Según los resultados obtenidos en el ensayo de tracción indirecta, en la visualización de la naturaleza de rotura no se aprecia claramente cuál ha sido el fallo de rotura. Tan sólo se puede cuantificar con los datos numéricos obtenidos del ensayo, donde sí se puede valorar que el tratamiento ha producido una mejora en los valores obtenidos.



6.5. ENSAYOS REALIZADOS EN EL ACERO

Los ensayos que se van a realizar sobre el acero al carbono y el acero galvanizado, vienen especificadas en la Marca de Calidad QUALISTEELCOAT. Al igual que en el caso de las aleaciones de aluminio, todos los ensayos están controlados por las Normas UNE EN-ISO. El ensayo de tracción indirecta también será realizado para estos sustratos.

En la siguiente tabla se muestran los ensayos realizados para los aceros.

Tabla 27 – Ensayos realizados en los aceros

	ACERO AL CARBONO SIN TRATAMIENTO	ACERO AL CARBONO CON TRATAMIENTO	ACERO GALVANIZADO SIN TRATAMIENTO	ACERO GALVANIZADO CON TRATAMIENTO
1	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR	ESPESOR
2	ADHERENCIA	ADHERENCIA	ADHERENCIA	ADHERENCIA
3	BRILLO	BRILLO	BRILLO	BRILLO
4	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO	ENVEJECIMIENTO ACELERADO
5	RESISTENCIA QUIMICA ACIDA	RESISTENCIA QUIMICA ACIDA	RESISTENCIA QUIMICA ACIDA	RESISTENCIA QUIMICA ACIDA
6	RESISTENCIA QUIMICA BASE	RESISTENCIA QUIMICA BASE	RESISTENCIA QUIMICA BASE	RESISTENCIA QUIMICA BASE
7	KESTERNICH	KESTERNICH	KESTERNICH	KESTERNICH
8	NIEBLA NEUTRA	NIEBLA NEUTRA	NIEBLA NEUTRA	NIEBLA NEUTRA
9	MORTERO	MORTERO	MORTERO	MORTERO
10	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO	AGUA HIRVIENDO
11	TRACCION	TRACCION	TRACCION	TRACCION

6.5.1. ESPESOR

Se utiliza la norma ISO 2808²⁹, que describe métodos dirigidos a la medición del espesor de los recubrimientos aplicados sobre un sustrato.

El instrumento y el procedimiento seguido para la realización de este ensayo ha sido igual que para las aleaciones de aluminio. Ver 6.4.2 ESPESOR

RESULTADO:

Acero al carbono Sin tratamiento:



Tabla 28 – Lectura del espesor correspondiente al acero al carbono sin tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	35,1	24,6	43,7	46,3	41	22,9	23,3	36,8	25	30,2
Medida 2	46,4	17,7	46,6	38,6	39	26,3	30,8	35,5	30,7	24,5
Medida 3	43,3	24,6	36,5	46,9	31,5	12,8	24,3	36,3	39,3	15,7
Medida 4	46,8	63,6	54,4	46,6	41	21,2	31,1	33,5	40,4	15,7
Medida 5	42,7	47,6	43,6	44	32,1	27,5	38,2	36,7	54,2	23,8
MEDIA	42,86	35,62	44,96	44,48	36,92	22,14	29,54	35,76	37,92	21,98

Acero al carbono Con tratamiento:

Tabla 29 - Lectura del espesor correspondiente al acero al carbono con tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	46	34,1	31,8	19,5	32,8	32,3	55,3	27,6	34,3	36,4
Medida 2	24	10,6	8,6	23,5	28,6	41,7	25,5	19,2	27,1	36,1
Medida 3	42,8	61,4	41,9	17,6	14,8	32,1	16,3	18,5	14,4	26,7
Medida 4	26,1	31,9	41,9	23,9	19,4	37,9	30,2	34,1	22,5	51
Medida 5	17,8	18,1	16,2	30,4	24,4	47,6	22	23,4	28,2	49
MEDIA	31,34	31,22	28,08	22,98	24	38,32	29,86	24,56	25,3	39,84

Acero al carbono galvanizado Sin tratamiento:

Tabla 30 – Lectura del espesor correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	87,2	41,5	83,5	43	60	47,2	71,6	37,5	65	49,1
Medida 2	62	59,9	69,4	37,5	55,6	36,2	55,5	40,4	88,6	46,5
Medida 3	44,3	49,5	65,3	23,5	43,9	32,3	50,1	28,9	52,6	40,6
Medida 4	64,9	56,9	79,2	19	59,4	39,2	59,2	26,8	55	54,7
Medida 5	41,7	59,8	71,7	33,5	42,9	33,1	59,2	38,6	80,5	60,3
MEDIA	60,02	53,52	73,82	31,3	52,36	37,6	59,12	34,44	68,34	50,24

Acero al carbono galvanizado Con tratamiento:

Tabla 31 – Lectura del espesor correspondiente al acero galvanizado con tratamiento (μm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medida 1	61,9	31,3	52,4	36,6	35,9	45,3	94,1	72,1	52,3	36,8
Medida 2	42	32,5	31,3	42,8	43,3	49,8	48,2	43	30,7	33,4
Medida 3	87,5	49,4	61,2	35,3	37,4	35,6	41,9	41,1	28,4	33,3
Medida 4	75,1	23,9	44,2	32,9	50,6	48,4	46,3	53	37	28,3
Medida 5	41,5	25,8	27,2	45,8	44,8	47,3	30,6	37,4	32	44,3
MEDIA	61,6	32,58	43,26	38,68	42,4	45,28	52,22	49,32	36,08	35,22

RESULTADO:

Qualisteelcoat nos marca que el espesor mínimo será del 80% ($48 \mu\text{m}$) del valor del espesor exigido ($60 \mu\text{m}$). El ensayo será aceptable si la media de los espesores es igual o superior al valor exigido.

Puede observarse que en la mayoría de muestras el valor del espesor o tiene una medida inferior a $48 \mu\text{m}$ o la media es inferior a $60 \mu\text{m}$, por tanto este ensayo “NO PASA”.

6.5.2. ADHERENCIA

Se usa la Norma UNE EN ISO 16276-2³⁰, que especifican los procedimientos a seguir para evaluar la resistencia de los sistemas de pintura cuando éstos se someten a ensayos de corte con un diseño de entramado en ángulo recto (enrejado) o en forma de X (Cruz de San Andrés), profundizando las incisiones hasta alcanzar el sustrato.

Se utiliza el mismo instrumento que el que se ha utilizado en los aluminios. Ver 6.4.3 ADHERENCIA

PROCEDIMIENTO:

Se toman tres muestras de acero al carbono y acero al carbono galvanizado sin tratamiento y con él y se realizan dos cortes por cada una de las piezas.

Según Qualisteelcoat la distancia de los cortes debe ser de 1mm para los espesores de hasta $60 \mu\text{m}$.

RESULTADO:

Según la Especificación Qualisteelcoat las muestras no deben presentar ningún tipo de desprendimiento, grado 0 de la escala de referencia (Ver Figura 10 – Escala de referencia para el ensayo de adherencia).

Acero al carbono Sin tratamiento:

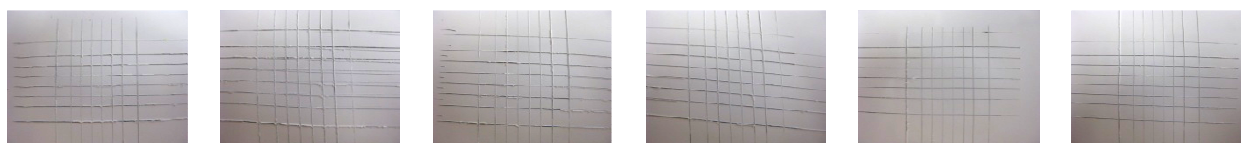


Figura 64 – Ensayo de adherencia correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

Acero al carbono Con tratamiento:



Figura 65 – Ensayo de adherencia correspondiente al acero al carbono con tratamiento

Acero galvanizado Sin tratamiento:

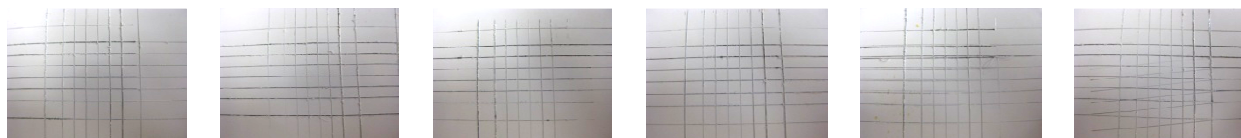


Figura 66 – Ensayo de adherencia correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

Acero galvanizado Con tratamiento:



Figura 67 – Ensayo de adherencia correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

En ninguna de las muestras ensayadas se ha observado desprendimiento alguno. Por lo tanto este ensayo “PASA”.

6.5.3. BRILLO

Al igual que en el ensayo para los aluminios, el nivel de brillo del revestimiento debe estar dentro de los límites tolerados.

Se utiliza también la Norma ISO 2813¹⁶ para la determinación del brillo y el mismo brillómetro. Ver 6.4.1 BRILLO

PROCEDIMIENTO:

La directriz Qualisteelcoat para este ensayo nos indica que la medida del brillo debe ser con luz incidente a 60° de la normal.

Se cogerán tres probetas por cada uno de los materiales y se realizarán seis medidas en cada una de ellas.

RESULTADO:

Las lecturas realizadas se reflejan en las siguientes tablas:

Acero al carbono Sin y Con tratamiento:



Tabla 32 – Lectura del brillo correspondiente al acero al carbono (en unidades de brillo)

	ACERO ST – 1	ACERO ST - 2	ACERO ST – 3	ACERO CT – 1	ACERO CT - 2	ACERO CT – 3
Medida 1	88,1	87,9	87,9	87,5	87,9	88
Medida 2	88,6	87,7	88,3	86,5	87,4	87,9
Medida 3	89,4	87,6	87,7	88,3	88,7	86,3
Medida 4	88,4	88,4	88,1	88,7	88,6	88,6
Medida 5	88,9	88	88,5	87,6	88,1	87,9
Medida 6	87,9	85,5	88,3	88,3	89,4	88,9

Los valores obtenidos en las lecturas con el brillómetro están dentro de los límites establecidos por el fabricante, 85-95 unidades de brillo. Este ensayo “PASA”.

Acero galvanizado Sin y Con tratamiento:

Tabla 33 – Lectura del brillo correspondiente al acero galvanizado (en unidades de brillo)

	ACERO GALVANIZ. ST – 1	ACERO GALVANIZ. ST - 2	ACERO GALVANIZ. ST – 3	ACERO GALVANIZ. CT – 1	ACERO GALVANIZ. CT - 2	ACERO GALVANIZ. CT – 3
Medida 1	88,7	86,6	87,6	87,5	88,2	88,2
Medida 2	87	87,8	85,3	87,5	87,8	87,1
Medida 3	85,4	87,5	88,1	88	87,8	87,5
Medida 4	87,1	89,1	85	88,9	88,4	88,3
Medida 5	87,6	88	85,2	87,3	88,7	87,1
Medida 6	89,1	87,1	87	87,3	87,9	87,7

Al igual que en los aceros al carbono, los valores de brillo para los aceros galvanizados están dentro de los límites establecidos por el fabricante, 85-95 unidades de brillo. Este ensayo “PASA”.

6.5.4. ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Al igual que en el ensayo realizado para los aluminios se utiliza la Norma ISO 11341²⁶.

La cámara e instrumentos utilizados así como el procedimiento seguido ha sido el mismo que en el caso de los aluminios. Ver 6.4.9 ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

RESULTADO:

Las exigencias marcadas por Qualisteelcoat nos dicen:

Pérdidas de brillo: no puede ser superior al 50% del valor inicial. Valor obtenido con el brillo residual.



Cambio de color: de acuerdo con los valores de ΔE para el RAL correspondiente. En nuestro caso tenemos el RAL 9010, cuyo valor DELTA E es 2.0. (Ver Apéndice 9 – QUALISTEELCOAT Especificaciones Técnicas⁹).

Las siguientes tablas muestran las variaciones de color y brillo que se han tomado al comienzo del ensayo y después de la finalización de éste y el cálculo del brillo residual.

Acero al carbono Sin tratamiento:

Brillo:

Tabla 34 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero al carbono sin tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL			BRILLO FINAL			BRILLO RESIDUAL		
	ACERO ST – 1	ACERO ST – 2	ACERO ST – 3	ACERO ST – 1	ACERO ST – 2	ACERO ST – 3	ACERO ST – 1	ACERO ST – 2	ACERO ST – 2
Medida 1	87,6	87,4	87,2	79,6	73,1	61	90,87	83,64	69,95
Medida 2	88,9	88,2	89,7	79,1	79,6	47,7	88,98	90,25	53,18
Medida 3	87,8	86,2	87,6	77,7	76,4	59,2	88,50	88,63	67,58
MEDIA	88,10	87,27	88,17	78,80	76,37	55,97	89,44	87,51	63,48

Color:

Tabla 35 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

	1	2		
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
L	96,13	96,31	96,32	96,13
A	-1,07	-1,07	-1,07	-1,06
B	0,88	0,4	0,38	0,84
ΔE		0,5126	0,5348	0,041

Se puede observar que el brillo residual ha sido superior al 50% y que el valor de ΔE está dentro del valor establecido.

Acero al carbono Con tratamiento:

Brillo:



Tabla 36 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero al carbono con tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL			BRILLO FINAL			BRILLO RESIDUAL		
	ACERO CT – 1	ACERO CT – 2	ACERO CT – 3	ACERO CT – 1	ACERO CT – 2	ACERO CT – 3	ACERO CT – 1	ACERO CT – 2	ACERO CT – 3
Medida 1	87,3	88,3	86,6	46,7	68,1	77,8	53,49	77,12	89,84
Medida 2	88,6	86,4	88,6	54,6	59,3	83,6	61,63	68,63	94,36
Medida 3	86,6	85,3	85,4	53,6	49,7	79,5	61,89	58,26	93,09
MEDIA	87,50	86,67	86,87	51,63	59,03	80,30	59,01	68,11	92,44

Color:

Tabla 37 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero al carbono con tratamiento

	1	2		
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
L	96,13	96,24	96,05	95,95
A	-1,03	-1,09	-1,16	-1,23
B	1,06	0,43	0,06	0,77
ΔE		0,6423	1,0115	0,3956

Brillo y color están dentro de las exigencias establecidas.

Acero galvanizado Sin tratamiento:

Brillo:

Tabla 38 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL			BRILLO FINAL			BRILLO RESIDUAL		
	GALVA. ST – 1	GALVA. ST – 2	GALVA. ST – 3	GALVA. ST – 1	GALVA. ST – 2	GALVA. ST – 3	GALVA. ST – 1	GALVA. ST – 2	GALVA. ST – 3
Medida 1	90,1	88,8	87,5	71,6	53,1	68,4	79,47	59,80	78,17
Medida 2	89,7	89,1	90	77,4	77,3	47,2	86,29	86,76	52,44
Medida 3	88,6	87,5	89	74,2	65,5	77,6	83,75	74,86	87,19
MEDIA	89,47	88,47	88,83	74,4	65,3	64,4	83,16	73,81	72,50

Color:



Tabla 39 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

	1	2		
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
L	95,15	94,89	95,77	95,86
a	-1,07	-1,39	-1,27	-1,13
b	0,95	-0,58	0,02	0,1
ΔE		1,5845	1,1354	1,1091

Brillo y color están dentro de las exigencias establecidas.

Acero galvanizado Con tratamiento:

Brillo:

Tabla 40 – Medidas del brillo en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero galvanizado con tratamiento (en unidades de brillo)

	BRILLO INICIAL			BRILLO FINAL			BRILLO RESIDUAL		
	GALVA. CT – 1	GALVA. CT – 2	GALVA. CT – 3	GALVA. CT – 1	GALVA. CT – 2	GALVA. CT – 3	GALVA. CT – 1	GALVA. CT – 2	GALVA. CT – 3
Medida 1	88,7	83,6	87,8	60,3	68,3	41,3	67,98	81,70	47,04
Medida 2	88,6	87,3	87,6	82,3	72,6	49,6	92,89	83,16	56,62
Medida 3	88,2	88,1	87,5	72,1	67	76,4	81,75	76,05	87,31
MEDIA	88,50	86,33	87,63	71,57	69,30	55,77	80,87	80,27	63,64

Color:

Tabla 41 – Medidas del color en el ensayo de envejecimiento correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

	1	2		
	Referencia	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
L	95,95	95,9	96,32	96,56
a	-1,12	-1,17	-1,02	-1,03
b	0,47	0,02	1,01	0,72
ΔE		0,4555	0,6621	0,6653

Los valores de brillo y color están dentro de las exigencias definidas.

Este ensayo “PASA”.

6.5.5. RESISTENCIA QUIMICA

Con este ensayo se comprueba la resistencia química frente a ácidos y bases de los sistemas de recubrimiento.

Se utilizan las Normas ISO 12944-6³¹, que describe los tipos de pintura y sistemas de pintura utilizados comúnmente para protección de las estructuras de acero frente a la corrosión. También se usa la Norma ISO 2812³² que especifica un método general para la determinación de la resistencia de un sistema de recubrimiento, a los efectos de líquidos, distintos al agua, o de productos pastosos.

Los productos químicos utilizados son:

- a) 10% NaOH - Solución base.
- b) 10% H₂SO₄. - Solución ácida.

Este ensayo no se usa para determinar la evaluación de las propiedades de protección contra la corrosión sino para determinar la capacidad del sistema para su colocación en entornos altamente industriales.

PROCEDIMIENTO:

Se toman cuatro muestras de cada uno de los materiales a estudiar, dos se usarán para introducirlos en la solución base y los otros dos para la solución ácida.

En unos recipientes se colocan muestras en vertical procurando que el producto químico cubra más o menos la mitad de la pieza. Se cubre el recipiente para evitar evaporaciones durante el ensayo.



Figura 68 – Colocación de las piezas del ensayo de resistencia química

La duración del ensayo será de 168 horas.

RESULTADO:

Las exigencias Qualisteelcoat nos vienen marcadas por la siguiente tabla:

Tabla 42 – Exigencias Qualisteelcoat para ensayos de corrosión

Defecto	Tipo	NORMA	Evaluación/cantidad
Ampollamiento	0 (S0)	EN ISO 4628-2	Nada
Oxidación	Ri 0	EN ISO 4628-3	0%
Agrietamiento	0 (S0)	EN ISO 4628-4	Ninguna, es decir, no se detectan grietas
Descamación	0 (S0)	EN ISO 4628-5	0%

La evaluación de la degradación de los recubrimientos, se basan en la comparación del aspecto de la superficie del recubrimiento con patrones fotográficos que aparecen en cada una de las normas específicas para cada defecto. Dichos patrones están catalogados en base al tamaño y densidad de los defectos. El tamaño se evalúa en una escala entre 0 y 5, donde “0” indica que no hay defectos (0% de ampollamiento, 0% de área oxidada (Ri0) o 0% de área descamada) y “5” indica defectos tan severos que una diferencia adicional no tendría prácticamente significado³³.

Según Qualisteelcoat, las piezas ensayadas no deberían presentar ningún tipo de defecto.

SOLUCIÓN BASE:

Acero al carbono Sin tratamiento:

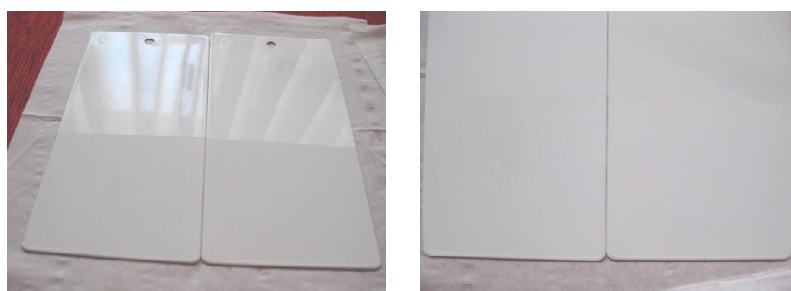


Figura 69 – Ensayo de resistencia química con solución base correspondiente el acero al carbono sin tratamiento

Se puede observar la pérdida de brillo que se produce en la parte que ha estado sometida al NAOH, pero no presenta ningún tipo de defecto que exige Qualisteelcoat.

Tabla 43 – Medidas del brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución base del acero al carbono sin tratamiento (en unidades de brillo)

	ACERO ST-1	ACERO ST-2
Medida 1	3,5	6,8
Medida 2	4,2	10,4
Medida 3	3,1	6,5

Acero al carbono Con tratamiento:

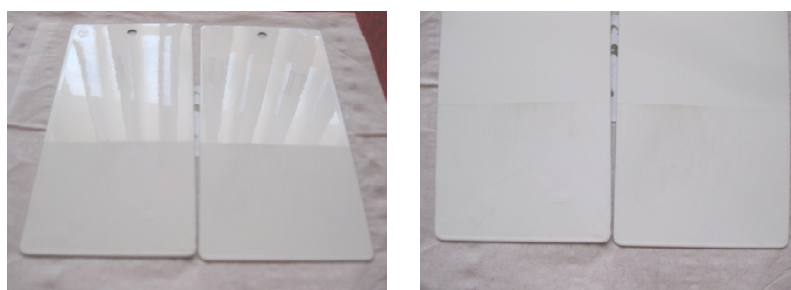


Figura 70 – Ensayo de resistencia química con solución base correspondiente al acero al carbono con tratamiento

Al igual que antes se muestra la pérdida de brillo con la solución base, pero no defectos.

Tabla 44 – Medidas del brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución base del acero al carbono con tratamiento (en unidades de brillo)

	ACERO CT-1	ACERO CT-2
Medida 1	4,1	4,4
Medida 2	4,5	6,1
Medida 3	3,8	4,2

Acero galvanizado Sin tratamiento:

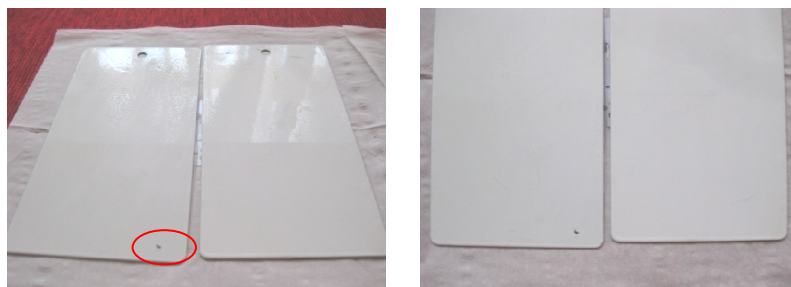


Figura 71 – Ensayo de resistencia química con solución base correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

Se puede observar la pérdida de brillo y un pequeño desprendimiento del recubrimiento en la zona expuesta a la solución.

Tabla 45 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución base del acero galvanizado sin tratamiento (en unidades de brillo)

	GALVANIZADO ST-1	GALVANIZADO ST-2
Medida 1	3	2,4
Medida 2	2,4	2,2
Medida 3	2,3	2

Acero galvanizado Con tratamiento:



Figura 72 – Ensayo de resistencia química con solución base correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

También se ha producido la pérdida de brillo en el recubrimiento así como se puede observar un pequeño desprendimiento de éste.

Tabla 46 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución base del acero galvanizado con tratamiento (en unidades de brillo)

	GALVANIZADO CT-1	GALVANIZADO CT-2
Medida 1	2,2	2,4
Medida 2	2,2	2,2
Medida 3	2,4	2,2

SOLUCIÓN ÁCIDA:

Acero al carbono Sin tratamiento:



Figura 73 – Ensayo de resistencia química con solución ácida correspondiente al acero al carbono sin tratamiento



Figura 74 – Defecto encontrado en una muestra de acero al carbono sin tratamiento en el ensayo de resistencia química con solución ácida

El defecto encontrado es que el ácido se ha comido el acero de esa zona y solo ha quedado el recubrimiento. Se observa que la pérdida de brillo es inexistente.

Tabla 47 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución ácida del acero al carbono sin tratamiento (en unidades de brillo)

	ACERO ST-1	ACERO ST-2
Medida 1	89,4	84,4
Medida 2	87,3	87,2
Medida 3	88,1	88,9

Acero al carbono Con tratamiento:



Figura 75 – Ensayo de resistencia química con solución ácida correspondiente al acero al carbono con tratamiento



Figura 76 – Defecto encontrado en una muestra de acero al carbono con tratamiento en el ensayo de resistencia química con solución ácida

En este caso la pérdida de sustrato ha sido mucho mayor que sin tratamiento, creándose un gran vacío de acero galvanizado en la zona expuesta al ácido. La pérdida de brillo es inexistente.

Tabla 48 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución ácida del acero al carbono con tratamiento (en unidades de brillo)

	ACERO CT-1	ACERO CT-2
Medida 1	90,3	90,5
Medida 2	88	90,7
Medida 3	90,9	89,8

Acero galvanizado Sin tratamiento:

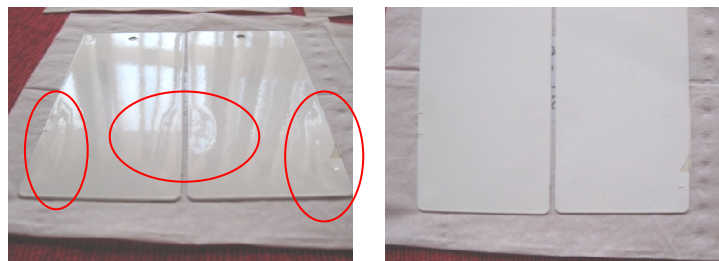


Figura 77 – Ensayo de resistencia química con solución ácida correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento



Figura 78 – Defecto encontrado en muestras de acero galvanizado sin tratamiento en el ensayo de resistencia química con solución ácida

Las zonas rojas marcan las zonas de pérdida de sustrato, el cual puede observarse que ha sido de gran tamaño. La pérdida de brillo es inexistente.

Tabla 49 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución ácida del acero galvanizado sin tratamiento (en unidades de brillo)

	GALVANIZADO ST-1	GALVANIZADO ST-2
Medida 1	88,6	90,2
Medida 2	87,2	88,2
Medida 3	85,1	89

Acero galvanizado Con tratamiento:

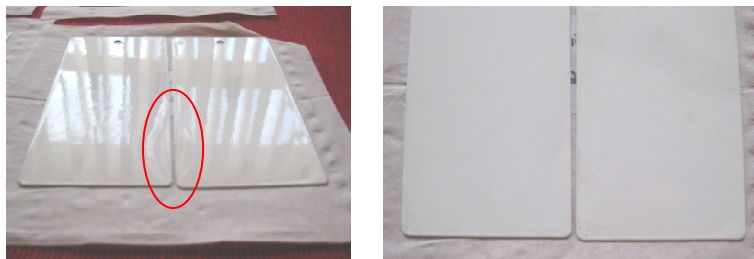


Figura 79 - Ensayo de resistencia química con solución ácida correspondiente al acero galvanizado con tratamiento



Figura 80 - Defecto encontrado en muestras de acero galvanizado con tratamiento en el ensayo de resistencia química con solución ácida

En este caso se ha perdido una cantidad menor de sustrato que en el caso del galvanizado sin tratamiento.



Tabla 50 – Medidas de brillo tomadas a la finalización del ensayo de resistencia química con solución ácida del acero galvanizado con tratamiento (en unidades de brillo)

	GALVANIZADO CT-1	GALVANIZADO CT-2
Medida 1	85,7	81,9
Medida 2	86,8	84,8
Medida 3	86	81,5

Como resumen de los datos obtenidos podemos establecer:

Solución Base Acero al carbono Sin tratamiento: PASA

Solución Base Acero al carbono Con tratamiento: PASA

Solución Base Acero galvanizado Sin tratamiento: NO PASA

Solución Base Acero galvanizado Con tratamiento: NO PASA

Solución Ácida Acero al carbono Sin tratamiento: NO PASA

Solución Ácida Acero al carbono Con tratamiento: NO PASA

Solución Ácida Acero galvanizado Sin tratamiento: NO PASA

Solución Ácida Acero galvanizado Con tratamiento: NO PASA

6.5.6. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS QUE CONTIENEN DIÓXIDO DE AZUFRE

El objeto de este ensayo es determinar la resistencia frente a ambientes altamente polucionados.

Se sigue la Norma ISO 12944-6³⁴, que especifica métodos y condiciones de ensayo para la valoración de sistemas de pintura para la protección frente a la corrosión de estructuras de acero. El ensayo lo especifica la Norma ISO 3231²³.

Al igual que en las aleaciones de aluminio, este ensayo se conoce bajo el nombre de Kesternich y se utiliza la misma cámara climática y el mismo procedimiento que allí se ha descrito. Ver 6.4.8 RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS CONTENIENDO DIÓXIDO DE AZUFRE.

RESULTADO:

Las exigencias de Qualisteelcoat para este ensayo son las mismas que las que nos encontramos para los ensayos de Resistencia Química. Ver Tabla 42 – Exigencias Qualisteelcoat para ensayos de corrosión.

También se realiza un estudio del factor de corrosión, f_c , al igual que en el caso de los aluminios (Ver 6.4.8). Éste no puede exceder los 16mm^2 y ningún valor medido superará los 4mm.

Acero al carbono Sin tratamiento:

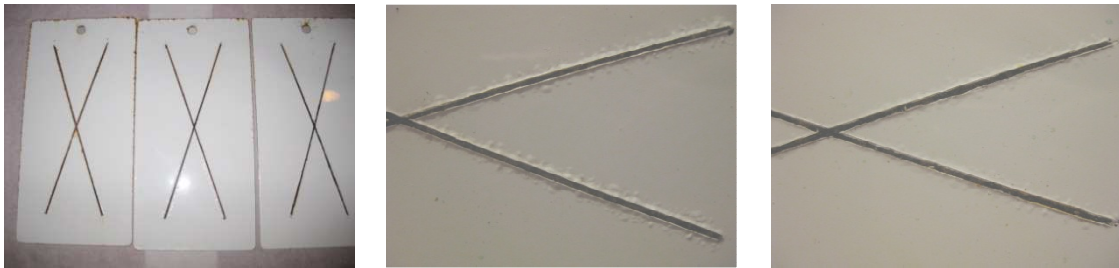


Figura 81 – Ensayo de Kesternich correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

Se observa un ampollamiento/levantamiento a lo largo de toda la incisión en todas las muestras. El factor de corrosión es superior a 16mm^2 , por tanto este ensayo “NO PASA”.

Acero al carbono Con tratamiento:

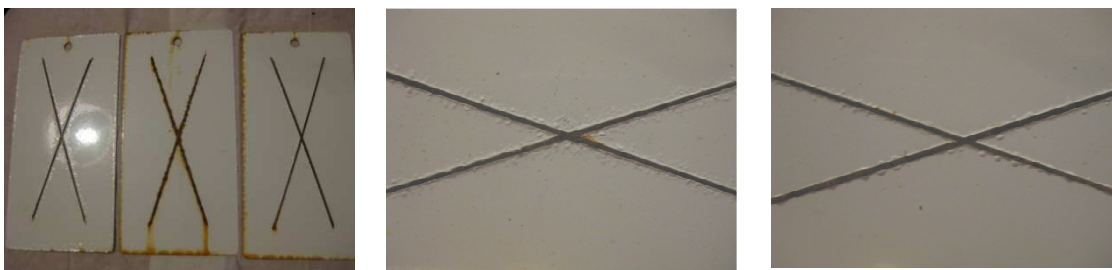


Figura 82 – Ensayo de Kesternich correspondiente al acero al carbono con tratamiento

Al igual que en el caso del acero sin pretratar, se observa ampollamiento a lo largo de todo la incisión. Este ensayo “NO PASA”.

Acero galvanizado Sin tratamiento:

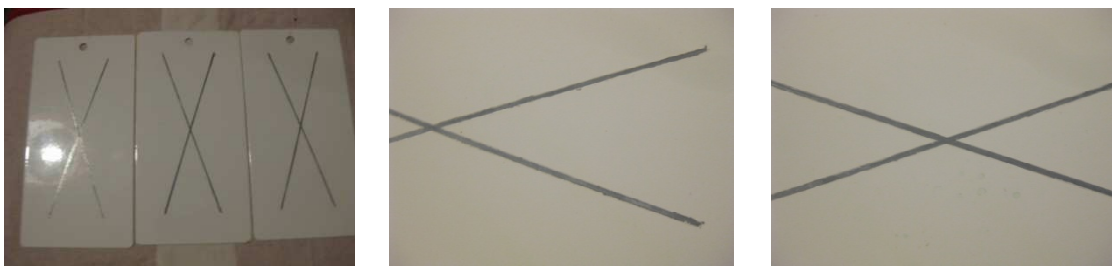


Figura 83 – Ensayo de Kesternich correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

En las muestras no se ha observado ningún tipo de defecto. Este ensayo “PASA”.

Acero galvanizado Con tratamiento:

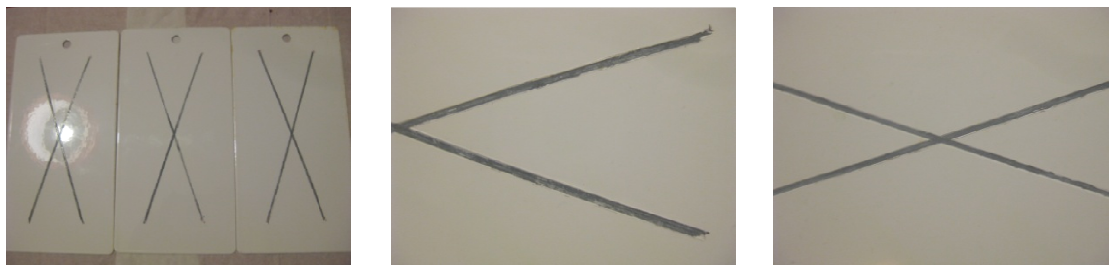


Figura 84 – Ensayo de Kesternich correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

En las muestras no se ha observado ningún tipo de defecto. Este ensayo “PASA”.

6.5.7. NIEBLA NEUTRA

Este ensayo es utilizado para determinar la resistencia a la corrosión en un entorno marino del sistema de revestimiento. Los resultados del ensayo darán una indicación de la durabilidad del sistema de recubrimiento para las distintas categorías de corrosividad.

Se emplea la Norma ISO 9227³⁵ y EN 13438³⁶, apartado 5.3.12, que especifican los aparatos, reactivos y métodos operatorios que se deben utilizar en los proyectos de niebla salina neutra, acética y cuproacética que permite evaluar la resistencia a la corrosión de materiales metálicos, con o sin recubrimiento de protección temporal o permanente.

Se ha utilizado el modelo SSC400 de la empresa DYCOMETAL.

Permite la realización de ensayos de corrosión en un tiempo determinado mediante niebla salina, condensación de agua y clima controlado con gran repetitividad.

El principal objetivo es la simulación del comportamiento que sufren los recubrimientos y sustratos en un ambiente marino, humedad alta, etc.



Figura 85 – Cámara climática de niebla salina

PROCEDIMIENTO:

Se toman tres muestras por cada material y se realiza la incisión en cruz mostrada en la Figura 86 – Incisión en cruz para ensayos de corrosión.

La duración del ensayo será de 500 horas a una temperatura de 35°C. Después de acabar el ensayo, se lavan las muestras con agua desionizada y se secan a continuación.

Se tomarán datos de las ampollas generadas para calcular el factor de corrosión, fc . Ver 6.4.8 RESISTENCIA A ATMÓSFERAS HÚMEDAS CONTENIENDO DIÓXIDO DE AZUFRE.

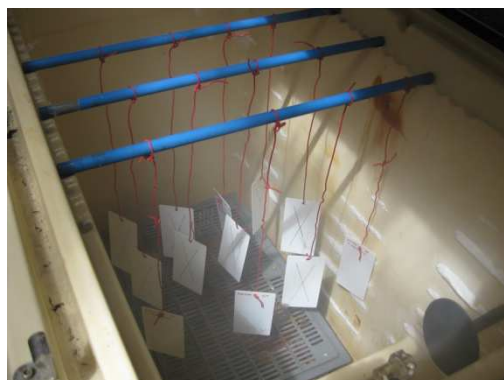


Figura 87 – Colocación de las muestras en la cámara niebla salina

Acero al carbono Sin tratamiento:

Tabla 51 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm^2) tomadas a las 48 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

	ACERO ST-1			ACERO ST-2			ACERO ST-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	2,81	1,13	3,18	1,01	1,01	1,02	1,75	1,08	1,89
2	2,01	1,04	2,09	1,02	1,02	1,04	1,27	1,28	1,63
3	3,07	1,60	4,91	1,16	1,31	1,52	1,33	0,88	1,17
4	1,36	0,79	1,07	1,03	1,51	1,56	1,15	0,90	1,04
5	0,93	0,91	0,85	1,04	1,01	1,05	1,79	1,07	1,92
6	2,29	2,08	4,76	1,14	1,15	1,31			
7	1,86	1,57	2,92	0,75	1,09	0,82			
8	1,57	1,47	2,31	0,77	0,79	0,61			
9	1,30	1,02	1,33	1,85	1,42	2,63			
10	3,35	1,33	4,46	1,96	1,20	2,35			
Σ			27,87			13,90			7,64
fc			11,61			5,79			3,18

Tabla 52 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 168 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

	ACERO ST-1			ACERO ST-2			ACERO ST-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	1,89	1,10	2,08	2,67	3,33	8,89	6,02	3,05	18,36
2	1,94	2,43	4,71	2,39	2,35	5,62	4,99	2,82	14,07
3	2,07	1,04	2,15	2,53	2,98	7,54	3,37	2,96	9,98
4	1,79	2,53	4,53	2,42	2,32	5,61	2,87	3,06	8,78
5	4,39	2,17	9,53	2,75	2,75	7,56	3,67	2,90	10,64
6	2,65	2,22	5,88	3,09	2,53	7,82	1,94	1,93	3,74
7	3,59	2,08	7,47	4,50	2,82	12,69	3,20	2,03	6,50
8	3,43	1,99	6,83	1,33	2,08	2,77	1,59	1,47	2,34
9	1,86	1,63	3,03	1,85	1,10	2,04	3,47	2,66	9,23
10	4,48	2,43	10,89	2,65	2,45	6,49			
11	1,39	1,05	1,46						
Σ			58,55			67,03			83,64
fc			24,40			27,93			34,85

Tabla 53 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 500 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

	ACERO ST-1			ACERO ST-2			ACERO ST-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	2,27	0,85	1,93	3,99	2,31	9,22	2,58	1,67	4,31
2	5,07	2,21	11,20	2,23	3,24	7,23	2,60	1,70	4,42
3	4,23	2,05	8,67	3,74	1,46	5,46	4,59	2,23	10,24
4	3,80	1,71	6,50	2,91	2,52	7,33	2,97	1,83	5,44
5	3,34	2,82	9,42	5,42	3,49	18,92	4,54	2,55	11,58
6	2,87	2,39	6,86			0,00	2,84	2,07	5,88
7	2,66	2,45	6,52						
8	6,85	1,81	12,40						
9	4,41	1,18	5,20						
10	2,70	2,70	7,29						
Σ			75,99			48,15			41,86
fc			31,66			20,06			17,44



Figura 88 – Muestra del acero al carbono sin tratamiento en ensayo de niebla salina



Acero al carbono Con tratamiento:

Tabla 54 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 48 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono con tratamiento

	ACERO CT-1			ACERO CT-2			ACERO CT-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	2,69	1,85	4,98	2,19	0,99	2,17	2,33	1,55	3,61
2	1,74	1,37	2,38	3,10	1,29	4,00	2,15	1,20	2,58
3	1,85	1,36	2,52	1,30	0,92	1,20	1,64	1,22	2,00
4	2,88	1,70	4,90	1,35	1,31	1,77	1,62	1,14	1,85
5	1,83	1,84	3,37	1,60	1,70	2,72	2,62	1,83	4,79
6							1,94	1,47	2,85
7							2,55	1,47	3,75
8							3,42	1,84	6,29
9							3,15	1,70	5,36
10							1,69	1,00	1,69
11							2,34	1,68	3,93
Σ			18,14			11,85			38,70
fc			7,56			4,94			16,13

Tabla 55 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 168 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono con tratamiento

	ACERO CT-1			ACERO CT-2			ACERO CT-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	12,84	5,65	72,55	4,01	2,15	8,62	2,38	2,38	5,66
2	9,14	4,65	42,50	3,87	1,81	7,00	3,34	2,10	7,01
3	2,85	1,91	5,44	1,94	1,68	3,26	1,55	1,59	2,46
4	2,69	1,57	4,22	3,74	1,62	6,06	2,92	1,91	5,58
5	2,50	1,83	4,58	2,13	1,92	4,09	2,00	1,38	2,76
6	2,90	1,85	5,37	2,33	1,98	4,61	8,21	4,55	37,36
7	4,11	2,56	10,52	1,80	1,79	3,22	2,37	2,42	5,74
8	4,85	1,43	6,94	1,83	1,83	3,35	7,48	3,34	24,98
9	2,23	1,57	3,50	3,21	1,96	6,29	4,02	2,88	11,58
10	12,04	5,99	72,12	1,93	1,57	3,03	2,97	2,77	8,23
11	2,73	2,15	5,87	1,40	1,41	1,97	2,78	2,32	6,45
12	2,66	1,43	3,80	1,05	1,64	1,72	2,36	2,12	5,00
13	2,14	2,12	4,54				1,89	1,82	3,44
14	2,37	1,47	3,48				2,19	1,99	4,36
15	6,70	5,75	38,53				2,27	2,05	4,65
16	1,99	1,44	2,87				2,36	2,16	5,10
Σ			286,82			53,24			140,36
Fc			119,51			22,18			58,48

Tabla 56 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 500 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero al carbono con tratamiento

	ACERO CT-1			ACERO CT-2			ACERO CT-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	4,32	4,11	17,76	8,40	5,59	46,96	1,51	2,06	3,11
2	2,31	1,79	4,13	3,14	2,61	8,20	3,79	2,72	10,31
3	4,15	2,25	9,34	7,47	3,02	22,56	3,95	3,35	13,23
4	1,96	2,32	4,55	2,09	1,07	2,24	2,15	1,93	4,15
5	3,01	1,61	4,85	7,89	3,12	24,62	6,99	5,50	38,45
6	1,84	1,26	2,32				2,53	2,02	5,11
7	4,11	2,57	10,56				7,97	3,67	29,25
8	2,25	2,04	4,59						
Σ			58,09			104,56			103,61
Fc			24,21			43,57			43,17



Figura 89 – Muestra del acero al carbono con tratamiento en ensayo de niebla salina

Acero galvanizado Sin tratamiento:

Tabla 57 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 168 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

	ACERO GALVANIZADO ST-1			ACERO GALVANIZADO ST-2			ACERO GALVANIZADO ST-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	1,94	1,12	2,17	2,90	2,36	6,84			
2				2,13	1,50	3,20			
3				2,71	2,45	6,64			
4				1,31	1,20	1,57			
5				3,23	1,92	6,20			
Σ			2,17			24,45			0
fc			0,91			10,19			0

Tabla 58 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 500 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

	ACERO GALVANIZADO ST-1			ACERO GALVANIZADO ST-2			ACERO GALVANIZADO ST-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	10,02	4,61	46,19	2,62	2,12	5,55	2,52	2,27	5,72
2	2,39	2,11	5,04	2,13	2,05	4,37	2,79	2,15	6,00
3	2,87	2,23	6,40	2,84	2,84	8,07	3,37	3,29	11,09
4	4,62	3,74	17,28	3,22	2,58	8,31	2,95	2,55	7,52
5	3,57	2,64	9,42	2,86	2,85	8,15	2,97	3,40	10,10
6	2,25	1,96	4,41	6,49	5,54	35,95	3,18	2,20	7,00
7				2,09	2,50	5,23	2,57	2,34	6,01
8				2,90	2,47	7,16	2,60	2,17	5,64
9				3,80	2,65	10,07	2,89	2,16	6,24
10				3,49	2,42	8,45			
11				3,27	3,82	12,49			
12				4,42	3,77	16,66			
13				4,48	4,11	18,41			
Σ			88,75			148,87			65,32
fc			36,98			62,03			27,22

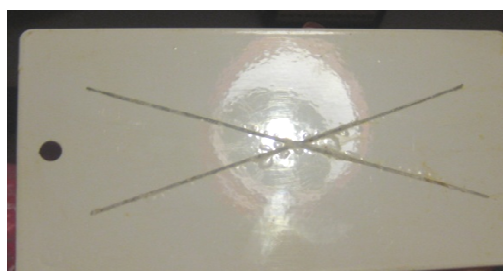


Figura 90 – Muestra del acero galvanizado sin tratamiento en ensayo de niebla salina

Acero galvanizado Con tratamiento:



Tabla 59 – Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 168 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

	ACERO GALVANIZADO CT-1			ACERO GALVANIZADO CT-2			ACERO GALVANIZADO CT-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	2,41	2,22	5,35	2,34	2,05	4,80			
2	1,83	1,67	3,06	2,52	1,77	4,46			
3	2,32	1,65	3,83	1,79	1,59	2,85			
4	2,30	1,53	3,52	3,34	2,34	7,82			
5	2,01	1,85	3,72	3,37	2,90	9,77			
6	2,49	2,33	5,80	1,94	1,56	3,03			
7	3,30	2,73	9,01	1,92	1,93	3,71			
8	2,71	2,56	6,94						
Σ			41,22			36,42			
fc			17,18			15,18			

Tabla 60 - Valor de ampollamiento (mm) y factor de corrosión (mm²) tomadas a las 500 horas en el ensayo de niebla salina correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

	ACERO GALVANIZADO CT-1			ACERO GALVANIZADO CT-2			ACERO GALVANIZADO CT-3		
	a	b	área	a	b	área	a	b	área
1	2,52	2,27	5,72	4,18	2,72	11,37	2,45	1,95	4,78
2	2,79	2,15	6,00	4,72	2,87	13,55	1,37	1,69	2,32
3	3,37	3,29	11,09	2,80	2,08	5,82	3,45	2,86	9,87
4	2,95	2,55	7,52	4,63	3,85	17,83			
5	2,97	3,40	10,10	2,63	2,45	6,44			
6	3,18	2,20	7,00	3,06	2,72	8,32			
7	2,57	2,34	6,01	3,70	3,50	12,95			
8	2,60	2,17	5,64	5,80	2,56	14,85			
9	2,89	2,16	6,24	5,26	3,89	20,46			
10				3,20	2,66	8,51			
11				4,61	2,67	12,31			
12				3,35	3,10	10,39			
Σ			65,32			142,80			16,96
fc			27,22			59,50			7,07



Figura 91 – Muestra del acero galvanizado con tratamiento en ensayo de niebla salina

RESULTADO:

Las exigencias marcadas por Qualisteelcoat para este ensayo aparecen en la Tabla 42 – Exigencias Qualisteelcoat para ensayos de corrosión. Los valores medidos de las ampollas (a o b) no debe exceder los 4mm y el ataque o factor de corrosión no debe ser superior a 16mm^2 .

Aunque se han tomado medidas del ampollamiento producido a lo largo de la incisión a las 48 horas, 168 horas y a la finalización del ensayo, los datos tomados en cuenta son los realizados a las 500 horas.

Como puede verse en todos los sustratos tenemos valores superiores a 4mm y factor de corrosión superior a 16mm^2 .

Como resumen de los datos obtenidos podemos establecer:

Acero al carbono Sin tratamiento: NO PASA

Acero al carbono Con tratamiento: NO PASA

Acero galvanizado Sin tratamiento: NO PASA

Acero galvanizado Sin tratamiento: NO PASA

6.5.8. MORTERO

Se sigue la Norma ISO 12206-1²⁷, al igual que en el caso del ensayo realizado en los aluminios.

Para la realización de este ensayo se ha llevado a cabo el mismo procedimiento así como la utilización de la cámara climática del ensayo de mortero realizado en las aleaciones de aluminio. Ver 6.4.10 RESISTENCIA AL MORTERO

RESULTADO:

Una vez concluido el tiempo de ejecución del ensayo, 24 horas, la Marca de Calidad Qualisteelcoat nos dice que se tiene que retirar el ensayo con la mano y limpiar cualquier resto dejado por el mortero con un trapo húmedo.

Cuando se ha secado se procede a la visualización de la huella dejada por el mortero. Ésta debe poder quitarse fácilmente sin dejar residuos. Cualquier daño mecánico de la superficie debido a la acción mecánica de los granos de arena, no serán tenidos en



cuenta y no se admite cambio en el aspecto/color en la huella dejada por el mortero. No excederá el grado 1 de la escala de referencia. Ver Figura 47 – Escala de referencia ensayo de mortero.

Como en el caso de los aluminios, no se observan restos ni huella de mortero en ninguno de los ensayos.

Acero al carbono Sin tratamiento:



Figura 92 – Ensayo de mortero correspondiente al acero al carbono sin tratamiento

Acero al carbono Con tratamiento:



Figura 93 – Ensayo de mortero correspondiente al acero al carbono con tratamiento

Acero galvanizado Sin tratamiento:



Figura 94 – Ensayo de mortero correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento

Acero galvanizado Con tratamiento:



Figura 95 – Ensayo de mortero correspondiente al acero galvanizado con tratamiento

El mortero no ha dejado huella en ninguna de las muestras, por tanto este ensayo “PASA” para todos los sustratos.

6.5.9. AGUA HIRVIENDO

Se utiliza la Norma ISO 13438³⁶, apartado A.4.11.

Los instrumentos utilizados, así como el procedimiento seguido ha sido el mismo que en el caso de los aluminios. Ver 6.4.11 RESISTENCIA AL AGUA HIRVIENDO.

RESULTADO:

Las exigencias que nos marca Qualisteelcoat nos dice que no puede haber ni defectos ni desprendimientos, pero se admite una alteración del color.

Las muestras ensayadas no han mostrado ningún tipo de defecto, desprendimiento o ampollamiento alguno. Tampoco el color se ha visto alterado.

Este ensayo “PASA”.

6.5.10. TRACCIÓN INDIRECTA

Al igual que el ensayo de tracción realizado para el aluminio, se emplea la Norma ISO 4624²⁸.

La máquina de tracción, así como el procedimiento seguido es igual al ensayo realizado en las aleaciones de aluminio. Ver 6.4.12 TRACCIÓN INDIRECTA.

Al igual que antes, se deben tomar los datos de los espesores de todas las piezas que vayan a estar implicadas en este ensayo, tres unidades de cada uno de los aceros disponibles.

Acero al carbono Sin tratamiento:



Tabla 61 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al acero al carbono sin tratamiento (μm)

ACERO ST	1	2	3
Medida 1	23,3	36,8	25
Medida 2	30,8	35,5	30,7
Medida 3	24,3	36,3	39,3
Medida 4	31,1	33,5	40,4
Medida 5	38,2	36,7	54,2
MEDIA	29,54	35,76	37,92

Acero al carbono Con tratamiento:

Tabla 62 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al acero al carbono con tratamiento (μm)

ACERO CT	1	2	3
Medida 1	27,6	34,3	36,4
Medida 2	19,2	27,1	36,1
Medida 3	18,5	14,4	26,7
Medida 4	34,1	22,5	51
Medida 5	23,4	28,2	49
MEDIA	24,56	25,3	39,84

Acero galvanizado Sin tratamiento:

Tabla 63 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al acero galvanizado sin tratamiento (μm)

GALVAN ST	1	2	3
Medida 1	71,6	37,5	65
Medida 2	55,5	40,4	88,6
Medida 3	50,1	28,9	52,6
Medida 4	59,2	26,8	55
Medida 5	59,2	38,6	80,5
MEDIA	59,12	34,44	68,34

Acero galvanizado Con tratamiento:



Tabla 64 – Medida de los espesores para el ensayo de tracción correspondiente al acero galvanizado con tratamiento (μm)

GALVAN CT	1	2	3
Medida 1	72,1	52,3	36,8
Medida 2	43	30,7	33,4
Medida 3	41,1	28,4	33,3
Medida 4	53	37	28,3
Medida 5	37,4	32	44,3
MEDIA	49,32	36,08	35,22

RESULTADO:

Una vez realizado el pegado de sufrideras a las piezas y el posterior curado de 24 horas, se procede a realizar el ensayo, obteniéndose las siguientes Fuerzas y Tensiones de rotura:

Tabla 65 – Tensiones de rotura, valor medio y desviación estándar correspondiente al acero

MATERIAL		SIN TRATAMIENTO		CON TRATAMIENTO	
		F (N)	σ (MPa)	F (N)	σ (MPa)
ACERO AL CARBONO	Muestra 1	300	0,96	140	0,45
	Muestra 2	170	0,54	367	1,17
	Muestra 3	366	1,17	327	1,04
	VALOR MEDIO	-	0,89	-	0,89
	DESVIACION ESTANDAR	-	0,26	-	0,22
ACERO AL CARBONO GALVANIZADO	Muestra 1	344	1,10	557	1,77
	Muestra 2	565	1,80	981	3,12
	Muestra 3	328	1,04	605	1,93
	VALOR MEDIO	-	1,31	-	2,27
	DESVIACION ESTANDAR	-	0,42	-	0,74

Las siguientes gráficas muestran los valores de la tensión de rotura así como la desviación estándar producida en los aceros:

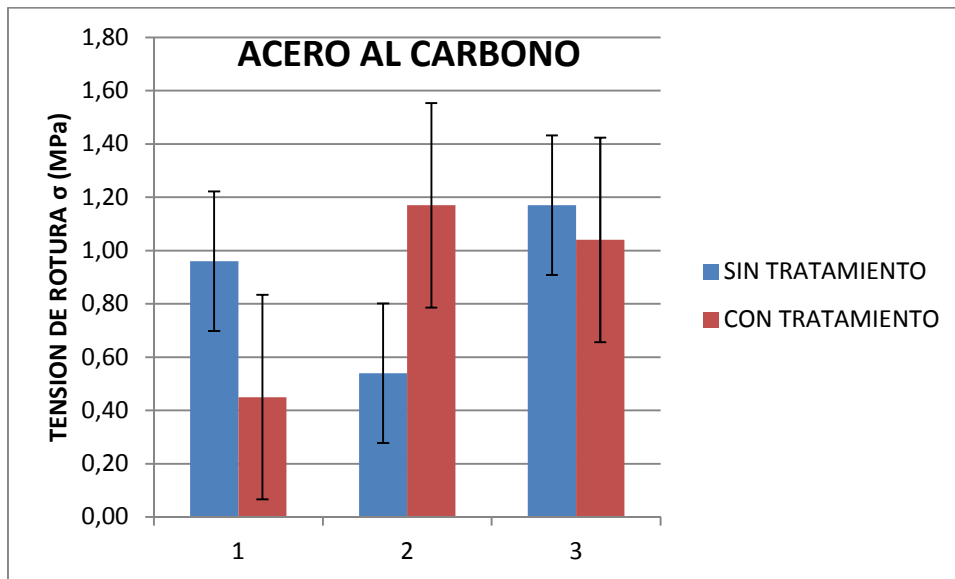


Figura 96 – Tensión de rotura correspondiente al acero al carbono

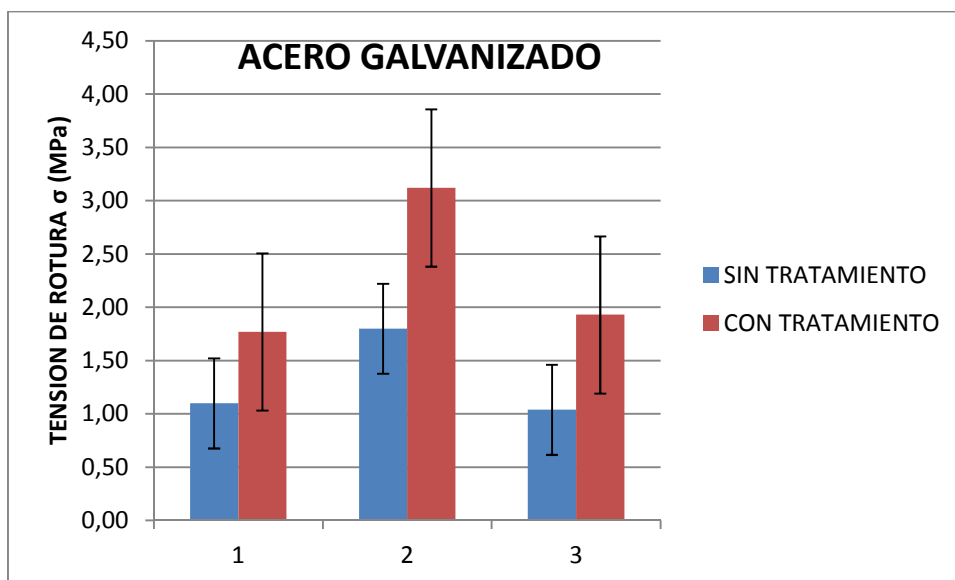


Figura 97 – Tensión de rotura correspondiente al acero galvanizado

Las muestras con pretratamiento han obtenido un incremento en su valor de rotura respecto a las muestras que no estaban pretratadas en el caso de los aceros galvanizados. Los aceros al carbono han presentado unos valores irregulares, obteniéndose la misma media y valores parecidos en la desviación, por tanto se puede concluir que el pretratamiento en este caso no ha mejorado las características de adhesión del recubrimiento.

La evaluación de la Naturaleza de la rotura se realiza con el mismo criterio seguido que en los aluminios. Ver Figura 59 – Montaje y zonas de rotura en el ensayo de tracción.

Acero al carbono Sin tratamiento:

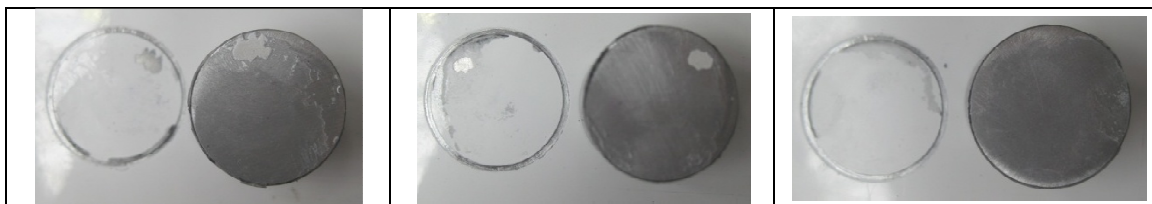


Figura 98 – Huella de la rotura producida en el acero al carbono sin tratamiento en el ensayo de tracción

Acero al carbono Con tratamiento:



Figura 99 – Huella de la rotura producida en el acero al carbono con tratamiento en el ensayo de tracción

Acero galvanizado Sin tratamiento:



Figura 100 – Huella de la rotura producida en el acero galvanizado sin tratamiento en el ensayo de tracción

Acero galvanizado Con tratamiento:



Figura 101 – Huella de la rotura producida en el acero galvanizado con tratamiento en el ensayo de tracción

Al igual que en el caso de los aluminios, la valoración de la naturaleza de la rotura no muestra si el fallo se ha producido en el pretratamiento, por tanto sólo se han tenido en cuenta los valores obtenidos de tensión de rotura.

CAPITULO 7

Evaluación de Resultados



7. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7.1. ALUMINIO

Tabla 66 – Resumen de resultados en los ensayos correspondientes al aluminio

ENSAYO	NORMA ISO	ALUMINIO 5005 SIN TRATAMIENTO	ALUMINIO 5005 CON TRATAMIENTO	ALUMINIO 6063 SIN TRATAMIENTO	ALUMINIO 6063 CON TRATAMIENTO
BRILLO	2813	BRILLANTE	BRILLANTE	BRILLANTE	BRILLANTE
ESPESOR	2360	1 PIEZA NO CONFORME	CONFORME	1 PIEZA NO CONFORME	1 PIEZA NO CONFORME
ADHERENCIA	2409	PASA	PASA	PASA	PASA
DUREZA	2815	PASA	PASA	PASA	PASA
EMBUTICIÓN	1520	PASA	PASA	--	--
PLEGADO	1519	NO PASA	PASA	--	--
IMPACTO	6272	NO PASA	NO PASA	--	--
KESTERNICH	3231	NO PASA	PASA	PASA	PASA
ENVEJECIMIENTO ACCELERADO	11341	PASA	PASA	PASA	PASA
MORTERO	12206-1	PASA	PASA	PASA	PASA
AGUA HIRVIENDO	--	PASA	PASA	PASA	PASA
TRACCIÓN INDIRECTA	4624	No hay especificación de Qualicoat para este ensayo. Lo que si se ha obtenido es que los valores de tensión de rotura en las muestras pretratadas ha sido mayor.			



7.2. ACERO

Tabla 67 – Resumen de resultados en los ensayos correspondientes al acero

ENSAYO	NORMA ISO	ACERO AL CARBONO SIN TRATAMIENTO	ACERO AL CARBONO CON TRATAMIENTO	ACERO GALVANIZADO SIN TRATAMIENTO	ACERO GALVANIZADO CON TRATAMIENTO
ESPESOR	2808	NO PASA	NO PASA	NO PASA	NO PASA
ADHERENCIA	2409	PASA	PASA	PASA	PASA
BRILLO	2813	BRILLANTE	BRILLANTE	BRILLANTE	BRILLANTE
ENVEJECIMIENTO ACCELERADO	11341	PASA	PASA	PASA	PASA
RESISTENCIA QUIMICA BASE	12944-6	PASA	PASA	NO PASA	NO PASA
RESISTENCIA QUIMICA ACIDA		NO PASA	NO PASA	NO PASA	NO PASA
KESTERNICH	3231	NO PASA	NO PASA	PASA	PASA
NIEBLA NEUTRA	9227	NO PASA	NO PASA	NO PASA	NO PASA
MORTERO	12206-1	PASA	PASA	PASA	PASA
AGUA HIRVIENDO	13438	PASA	PASA	PASA	PASA
TRACCIÓN INDIRECTA	4624	No hay especificación de Qualisteelcoat para este ensayo. Lo que si se ha obtenido es que los valores de tensión de rotura en las muestras pretratadas ha sido mayor.			

CAPITULO 8

Conclusiones

8. CONCLUSIONES

1. En el caso de los aluminios el pretratamiento de plasma hace que en la mayoría de ensayos tengamos resultados más satisfactorios que en las muestras sin pretratamiento. El ensayo de tracción que nos muestra los valores de Fuerza y Tensiones de Rotura hace que estos datos sean mayores en las piezas con pretratamiento, por tanto tengamos una mayor adherencia.
2. Los ensayos realizados sobre el acero han visto alterado su resultado debido al espesor del recubrimiento. Con un espesor superior a $60\mu\text{m}$ los ensayos sí que deberían haber sido satisfactorios.
3. Para los aceros se puede concluir que el resultado de los ensayos ha sido similar en las piezas pretratadas que sin pretratar, por tanto el pretratamiento de plasma no ha afectado en la mejora de las características de los metales. En el ensayo de tracción sí que se puede observar un pequeño aumento de la Fuerza y Tensión de Rotura en las muestras pretratadas, que nos hace concluir que la adherencia se ve mejorada con el plasma atmosférico.
4. En los ensayos de tracción indirecta realizados en los aluminios se observa que la aleación 5005 presenta una mayor adherencia del recubrimiento que la aleación 6063.
5. El acero al carbono presenta mejor adherencia que el acero galvanizado según se puede observar en el ensayo de tracción.
6. Los aceros galvanizados, gracias al pretratamiento que llevan, hacen que sean más aptos y tengan mayor resistencia a la corrosión que el acero al carbono.
7. Las muestras de acero galvanizado con pretratamiento de plasma al cabo del tiempo presentan hendiduras y pérdidas de recubrimiento en las zonas próximas a los bordes.

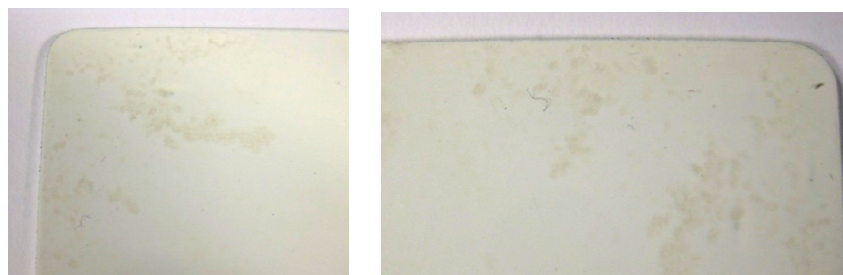


Figura 102 – Defectos en el recubrimiento en el acero galvanizado pretratado

8. El ensayo con solución base sobre los aceros, hace que el recubrimiento pierda brillo.
9. Las soluciones ácidas atacan el metal disolviéndolo dejando sólo el recubrimiento, como se ha visto en el ensayo de resistencia química.

CAPITULO 9

Líneas futuras de trabajo



9. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Utilización de otras aleaciones de aluminio y de acero.

Realización de los ensayos en muestras pretratadas con alguno de los métodos tradicionales para cada sustrato para realizar una nueva comparativa con el resultado de los ensayos realizados con pretratamiento de plasma.

Utilización de pintura líquida, también contemplado en las Marcas de Calidad Qualicoat y Qualisteelcoat.

Utilización de otros colores de pintura en polvo.

Realización del ensayo de tracción aplicando plasma atmosférico también en la superficie de la sufridera y en la superficie lacada para poder valorar si la rotura se ha producido debido al pretratamiento. Para poder tener una mejor valoración de la naturaleza de rotura producido en el ensayo de tracción, se deberían aumentar el número de muestras ensayadas.

Probar con otras velocidades de aplicación del plasma atmosférico así como la variación de altura.

CAPITULO 10

Referencias bibliográficas



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_5_6.html.
- ² <http://www.construsur.com.ar/News-sid-118-file-article-pageid-4.html>.
- ³ <http://disypol.com/pages/layer5.html>
- ⁴ http://www.interpon.es/expertise_topics/substrate_pretreatment/substrate-pre-treatment-prior-to-coatings/
- ⁵ <http://www.mopasa.com/site/tmp/pretratamientos%20de%20superficies%20metalicas.pdf>
- ⁶ <http://www.proquimia.com/seccion/expertos/tratamiento-superficies-metalicas/>
- ⁷ <http://www.aselac-lacados.com/>
- ⁸ “Directrices concernientes a la marca de calidad para los revestimientos por termolacado (líquido o polvo) del aluminio destinado a la arquitectura” 13ª edición.
- ⁹ “QUALISTEELCOAT Especificaciones Técnicas” Versión 1.1 Mayo 2010.
- ¹⁰ <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>
- ¹¹ http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Aluminio_seg%C3%BAAn_Aleaciones#Grupo_5000
- ¹² <http://www.broncesval.com/catalogo/index.asp?categoria=1&producto=10>
- ¹³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>
- ¹⁴ http://www.latiza.com/archivos_publicar/diagramacion_revista_galvanizado.pdf
- ¹⁵ <http://www.plasmatreat.es>
- ¹⁶ Norma UNE-EN ISO 2813:1999 – Pinturas y barnices. Determinación del brillo especular de películas de pintura no metálicas a 20°, 60° y 85°.
- ¹⁷ Norma UNE-EN ISO 2360: 2004 – Recubrimientos no conductores sobre materiales base conductores no magnéticos. Medición del espesor de recubrimiento. Método por corrientes inducidas sensibles a la variación de amplitud.
- ¹⁸ Norma UNE-EN ISO 2409: 2007 – Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado.
- ¹⁹ Norma UNE-EN ISO 2815:2003 – Pinturas y barnices. Ensayo de indentación Buchholz.
- ²⁰ Norma UNE-EN ISO 1520:2007 – Pinturas y barnices. Ensayo de embutición.
- ²¹ Norma UNE-EN ISO 1519: 2011 – Pinturas y barnices. Ensayo de plegado (mandril cilíndrico).



²² Norma UNE-EN ISO 6272-2:2012 – Pinturas y barnices. Ensayos de deformación rápida (resistencia al impacto). Parte 2: Ensayo de caída de una masa con percutor de pequeña superficie.

²³ Norma UNE-EN ISO 3231: 1998 – Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a atmósferas húmedas que contienen dióxido de azufre.

²⁴ Norma UNE-EN ISO 17872: 2007 – Pinturas y barnices. Líneas directrices para la realización de incisiones a través de los recubrimientos aplicados sobre probetas metálicas para realizar ensayos de corrosión.

²⁵ Norma UNE-EN ISO 4628-2:2004 – Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento.

²⁶ Norma UNE-EN ISO 11341:2005 – Pinturas y barnices. Envejecimiento artificial y exposición a radiación artificial. Exposición a la radiación filtrada de una lámpara de arco de xenón.

²⁷ Norma UNE-EN ISO 12206-1:2005 – Pinturas y barnices. Recubrimientos para el aluminio, y sus aleaciones, empleado en arquitectura. Parte 1: Recubrimientos obtenidos con pinturas en polvo.

²⁸ Norma UNE-EN ISO 4624: 2003 – Pinturas y barnices. Ensayo de adherencia por tracción.

²⁹ Norma UNE-EN ISO 2808:2007 – Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película.

³⁰ Norma UNE-EN ISO 16276-2:2008 – Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Evaluación y criterios de aceptación de la adherencia/cohesión (resistencia a fracturas) de un recubrimiento. Parte 1: Ensayo de corte por enrejado y ensayo de corte en X.

³¹ Norma UNE-EN ISO 12944-5:2007 – Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores.

³² Norma UNE-EN ISO 2812-1:2007 – Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a líquidos. Parte 1: Inmersión en líquidos distintos al agua.

33

http://www.umcc.cu/ceat/sites/default/files/Eventos%20Recientes/05_Carlos%20A.%20Echeverr%EDa%20Lage%20MZ.pdf

³⁴ Norma UNE-EN ISO 12944-6:1999 – Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio.

³⁵ Norma UNE-EN ISO 9227:2007 – Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.



³⁶ Norma UNE-EN ISO 13438. Pinturas y barnices.

Norma EN 60454-2:2007 –Cintas adhesivas sensibles a la presión para usos eléctricos.
Parte 2: Métodos de ensayos (IEC 60454-2:2007).